

Природно-техногенная безопасность регионов Сибири: ретроспектива исследований и новые задачи

В. В. Москвичев

Сибирский федеральный университет, 660041, Красноярск, Россия

Контактный автор: Москвичев Владимир Викторович, e-mail: krasn@ict.nsc.ru

Поступила 04 апреля 2023 г., принята в печать 17 апреля 2023 г.

Представлены проблемные постановки, задачи и направления научных исследований в области природно-техногенной безопасности регионов Сибири на протяжении сорокалетней истории работ, выполненных в институтах Сибирского отделения РАН. Выделены три этапа ретроспективы исследований, включающие региональные аспекты экологической и техногенной безопасности, результаты междисциплинарных интегральных проектов, программы совместных исследований с НАН Беларуси, этап расширенного применения информационных систем и вычислительных технологий для моделирования катастрофических процессов природного происхождения и аварийных ситуаций в техносфере. Особое внимание уделено вопросам и результатам мониторинга и характеристикам состояния природно-техногенной безопасности, оценкам рисков развития субъектов Сибирского федерального округа, представленным в формате обзора научных публикаций по основным направлениям исследований. Сформулированы направления и задачи перспективных исследований в области природно-техногенной и экологической безопасности регионов Сибири.

Ключевые слова: природно-техногенная и экологическая безопасность, устойчивое развитие, математическое моделирование, антропогенное воздействие, оценка риска.

Цитирование: Москвичев В.В. Природно-техногенная безопасность регионов Сибири: ретроспектива исследований и новые задачи. Вычислительные технологии. 2023; 28(3):25–40. DOI:10.25743/ICT.2023.28.3.003.

1. Исходные постановки проблемы и ретроспектива исследований

Интенсивные исследования проблем природно-техногенной безопасности сибирских регионов в значительной степени инициированы решениями и рекомендациями целого ряда Всероссийских конференций, проводимых под руководством академика Ю.И. Шокина в 1990-х и начале 2000-х гг., тематика которых охватывала широкий спектр актуальных вопросов:

- развитие математических методов для приложений в задачах моделирования природных и антропогенных катастроф;
- компьютерное моделирование чрезвычайных ситуаций (ЧС) и системы поддержки принятия решений;

- математические методы, методология и технологии прогнозирования рисков ЧС природного и техногенного происхождения;
- математическое моделирование прочности, ресурса, безопасности и аварийных ситуаций технических систем;
- технологии и средства мониторинга и прогнозирования ЧС, системы телекоммуникации, связи и контроля промышленной безопасности на объектовом, муниципальном и субъектовом уровнях;
- идентификация источников ЧС и оценка уровня техногенного и экологического риска территорий;
- территориальные автоматизированные информационно-управляющие системы в области прогнозирования и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- региональные проекты и программы по снижению рисков и смягчению последствий ЧС;
- декларирование, страхование, экспертиза и освидетельствование объектов повышенной опасности;
- человеческий фактор, связанный с низкой культурой безопасности.

Организаторами конференций выступали Институт вычислительных технологий СО РАН (Ю.И. Шокин, Л.Б. Чубаров), Институт вычислительного моделирования СО РАН (В.В. Шайдуров, В.В. Москвичев, Л.Ф. Ноженкова), Институт машиноведения РАН (Н.А. Махутов), Научно-производственное предприятие «СибЭРА» (А.П. Черняев) при активном участии структурных подразделений МЧС России, Ростехнадзора и ряда вузов сибирских регионов. В этот период в г. Красноярске состоялись следующие мероприятия:

1. Всероссийская конференция «Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций» (23–26 сентября 1997 г.).
2. V Международная конференция «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф» (17–23 августа 1999 г.).
3. Научный форум «Природно-техногенная безопасность Сибири», включающий VI Международную конференцию «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф», II Всероссийскую конференцию «Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций», Научно-практический семинар «Проблемы промышленной безопасности» (29 октября — 2 ноября 2001 г.).
4. VII Всероссийская конференция «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф», III Всероссийская конференция «Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (14–17 октября 2003 г.).

В 2007 г. возобновилось проведение Всероссийской конференции «Безопасность и живучесть технических систем», которая стала важным интеграционным мероприятием для специалистов и ученых, занятых проблемами конструкционной прочности, материаловедения, остаточного ресурса, надежности и риск-анализа, природно-техногенной безопасности, мониторинга технического состояния критических и потенциально опасных объектов, технических систем и конструкций различного назначения. Конференции прошли в 2007, 2009, 2012, 2015, 2018 гг. В 2018 г. конференция получила новые формат и содержание — «Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем», имела расширенный перечень направлений работы. Кроме традиционных вопросов обсуждались проблемы мониторинга, оценки и прогнозирования природных и антропоген-

ных рисков социально-природно-техногенных систем. Программа включала обучающий семинар “Реализация Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг. на национальном и местном уровнях” и круглый стол “Технологии оценки технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений в аварийных состояниях”.

Другим важнейшим обстоятельством, стимулирующим развитие в СО РАН исследований в указанных направлениях, в середине 1990-х гг. стали активные дискуссии по концепции цивилизационного устойчивого развития и значению этой проблемы для России. Исследования в данном направлении в СО РАН проводились под руководством академика В.А. Коптюга, при этом значительное внимание уделялось противоречиям общественного и социального развития с учетом требований рационального природопользования, сохранения и защиты природной среды:

- неспособность природной среды в полной степени удовлетворять растущим потребностям общества;
- чрезмерная эксплуатация природных ресурсов на фоне ограниченных возможностей для их восстановления;
- обострение дилеммы научно-технического прогресса: с одной стороны, высокие темпы развития техносферы в XX в. и выдающиеся достижения в различных отраслях промышленности, а с другой — возникновение и нарастание не существовавших ранее потенциальных и реальных угроз человеку, обществу, среде обитания со стороны объектов техносферы;
- невозможность полного предотвращения техногенных аварий и природных катастроф, которые оказались неустраняемыми в прошлом и не могут быть исключены в будущем (концепция ненулевого риска аварий и катастроф).

Отмеченные противоречия во взаимодействии элементов системы природная среда — техносфера — общество привели к росту числа ЧС природного, природно-техногенного и техногенного характера. Особенностью данной ситуации для России являлось то, что рост числа ЧС в 1990-е гг. сопровождался резким сокращением темпов и объемов производства. Среди основных причин следует отметить недостаточную нормативно-правовую базу в области природно-техногенной безопасности на федеральном и региональном уровнях. Обострение проблемы природно-техногенной безопасности явилось следствием дестабилизационных прогрессов в системе социум — природная среда — техносфера и игнорированием требований концепции устойчивого развития, выходом базовых показателей и критериев социально-экономического развития территориальных образований за нормативные уровни. На первый план выдвинулись задачи прогнозирования и предупреждения природных и техногенных катастроф исходя из данных мониторинга состояния объектов техносферы и источников природных катастроф, вопросы моделирования природных процессов и техногенных аварийных ситуаций. Особо актуальна данная постановка для территорий Сибири, Крайнего Севера и Арктической зоны, где имеется широкий спектр новых угроз различного происхождения и в то же время формируются основные точки роста экономического потенциала России.

Систематическое проведение и публикация материалов конференций, подготовка специальных номеров журналов “Вычислительные технологии”, “Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций” позволили активизировать фундаментальные исследования и решение прикладных задач в интересах отдельных субъектов Сибирского федерального округа (СФО), территориально-промышленных образований, критически важных и потенциально опасных объектов. Стратегическими целями этих исследова-

ний полагались повышение эффективности социально-экономического развития, минимизация рисков развития, повышение региональной защищенности, обеспечивающих сохранение и рост численности населения, повышение уровня его здравоохранения, качества жизни, образования, духовной культуры и сохранение традиций.

2. Основные этапы и результаты исследований

По постановкам задач и содержанию полученных результатов в области природно-техногенной безопасности регионов Сибири выделяются три основных этапа исследований: этап I — 1990-е — начало 2000-х гг.; этап II — 2000-е гг.; этап III — 2010-е гг. и по настоящее время.

Этап I. Региональные постановки проблемы. Первоначальные задания на исследования проблем природно-техногенной безопасности регионов Сибири были сформулированы в рамках Государственных научно-технических программ “Безопасность населения и народно-хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф” (1990–2000 гг.) и “Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2005 г.”. В начале 2000-х гг. существенная поддержка исследований обеспечивалась в рамках комплексных и междисциплинарных интеграционных проектов Сибирского отделения РАН. Выполнен ряд проектов по решению задач природно-техногенной безопасности отдельных регионов Сибири (Красноярский край, Кемеровская и Иркутская области, Республика Саха (Якутия)), в том числе:

1. Создание геоинформационной системы (ГИС) “Безопасность региона: вероятностные модели и экспертные системы для районирования территорий по уровню риска возникновения чрезвычайных ситуаций” (1998–2001 гг., ИВМ СО РАН).
2. Математическое моделирование катастрофических процессов в природной среде и аварийных ситуаций в техносфере (2003–2005 гг., ИВМ СО РАН).
3. Расчет значений индивидуальных и комплексных рисков возникновения ЧС природного и техногенного характера для населения городов и районов Красноярского края, районирование территорий по степени риска (2004–2006 гг., ИВМ СО РАН).
4. Моделирование антропогенных воздействий и разработка методов оценки риска территорий Сибири и Крайнего Севера (2006–2008 гг., ИВМ СО РАН, ИВТ СО РАН, ИФТПС СО РАН, ИУУ СО РАН).

В рамках выполненных проектов были разработаны:

- ряд базовых моделей, обеспечивших проведение прогнозов экологической, сейсмической и геодинамической направленности;
- модели и технологии анализа сценариев развития техногенных аварий;
- математические модели оценки территориального риска чрезвычайных ситуаций с построением матрицы показателей экологического риска и картограмм риска на основе ГИС-технологий;
- развиты модели и методы вероятного риск-анализа технических систем, основанные на модельных расчетах сценариев развития техногенных ЧС;
- модели, позволяющие оценить опасность наводнений за некоторый период времени прогнозирования и получить оценки риска наводнений на основе теории экстремальных статистик.

Знаковым событием на данном этапе работ стала подготовка и публикация в 2001 г. в рамках многотомного издания “Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты” отдельного тома, посвященного проблемам безопасности Красноярского края [1]. Были рассмотрены вопросы состояния природно-техногенного, экологического, ресурсного, радиационного, сейсмического, информационного и других аспектов безопасности территорий и населения Красноярского края, обобщены результаты исследований, включая разработку целевых программ по снижению рисков и смягчению последствий ЧС природного и техногенного характера.

Этап II. Междисциплинарные и интеграционные проекты СО РАН и программа совместных исследований с НАН Беларуси. На втором этапе исследований можно выделить два цикла работ:

1. Выполнение междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН “Антропогенные риски угледобывающих и нефтедобывающих территорий Сибири” (2009–2011 гг.) и “Природные и техногенные риски критически важных гидротехнических объектов, водохранилищ и водных систем Сибири” (2012–2014 гг.) с участием институтов: ИВМ СО РАН, ИВТ СО РАН, ИФТПС СО РАН, ИУУ СО РАН, ИВЭП СО РАН, СКТБ “Наука” КНЦ СО РАН. Наиболее значимые результаты реализации проектов опубликованы в работах [2–7].
2. Выполнение проекта “Концепция устойчивого развития и природно-техногенной безопасности территорий Беларуси и Сибири на основе учета рисков с применением геоинформационных технологий” (2012–2015 гг.) в рамках программы совместных фундаментальных исследований НАН Беларуси и СО РАН (постановление Президиума СО РАН от 01.03.2012 № 63) с участием институтов: ИВТ СО РАН, ИВМ СО РАН, СКТБ “Наука” КНЦ СО РАН и Института экономики НАН Беларуси. В предшествующий период совместно с белорусскими специалистами был опубликован ряд монографических изданий [8–12], посвященных памяти академика В.А. Коптюка. Работы выполнялись по предложению профессора Н.Я. Шапарева при активной поддержке академика Ю.И. Шокина.

Проведенные исследования показали необходимость методологического разделения вопросов оценки и влияния антропогенного воздействия на две территориальные группы — урбанизированные территории с высокой плотностью населения, включающие промышленные агломерации, и вновь осваиваемые территории с низкой плотностью населения и формируемой промышленной инфраструктурой, в основном нефтегазового комплекса. Особенности анализа территориальных рисков в данной ситуации оказались различными, что потребовало дополнительных методических обоснований. Первая группа относится к южному поясу территориального развития СФО, вторая — к северным и арктическим территориям активного промышленного освоения.

Обобщение итоговых материалов позволяет выделить следующие практические результаты исследований.

1. Выполнены исследования по развитию ГИС “Безопасность региона”, базирующейся на применении вероятностно-эвристических подходов, геоинформационных технологий и экспертных систем с целью районирования территорий по уровням риска возникновения чрезвычайных ситуаций. Разработаны базовые статические, кинетические и динамические модели для оценки конструкционного риска потенциально опасных объектов. Рассмотрены возможности комплексного мониторинга чрезвычайных ситуаций в регионе. В составе комплекса космический, гидроме-

теорологический, экологический, эпидемиологический, сейсмический мониторинг. Описана система сбора и обработки информации. Представлены результаты оценивания уровня рисков техногенных ЧС на промышленных предприятиях Красноярского края.

2. Проведены комплексные исследования сейсмоопасности Красноярской промышленной агломерации и уточнены карты сейсмического микрорайонирования.
3. Создан паводковый атлас Красноярского края и проведены работы по созданию экспертной ГИС “Паводки” в составе разработанной структуры ГИС “Безопасность региона”.
4. Выполнены оценки индивидуальных и комплексных рисков природных и техногенных ЧС в Красноярском крае. Разработана ГИС-технология построения карт рискоопасных территорий. Выполнено районирование территорий края по уровню риска.
5. Создана экспертная геоинформационная система (ЭГИС), предназначенная для мониторинга, анализа и оценки паводковой и пожарной обстановки на различных уровнях управления и поддержки принятия решений по планированию и контролю противопаводковых и противопожарных мероприятий. Система выполняет анализ данных и осуществляет информационную поддержку управления в условиях угрозы и наступления чрезвычайных ситуаций. Картографическая поддержка дает возможность проанализировать обстановку на картах местности различных масштабов.
6. Проведены исследования по разработке моделей и методов оценки комплексного территориального риска, анализу антропогенного воздействия на природную среду угледобывающих территорий, аварийных ситуаций на магистральных газопроводах и энергетических объектах Якутии. Разработаны методы анализа каскадных и лавинообразных катастроф. Проведено моделирование антропогенных воздействий на природные комплексы Кемеровской области, сейсмической опасности и гидродинамических аварий на территории Красноярского края.
7. Сформулирована общая концепция оценки экологического риска территориальных образований. Выполнены обоснования критериев и проведен выбор показателей экологического риска. Сформулированы требования к системе мониторинга показателей экологического риска. Разработаны методологические основы методической базы и программного обеспечения оценок индивидуальных и комплексных рисков возникновения ЧС природного и техногенного характера и проведено районирование территорий Красноярского края, Иркутской области и Республики Саха (Якутия) по степени риска.
8. Выполнены оценки степени опасности субъектов Сибирского федерального округа от ЧС техногенного и природного характера. Получены количественные оценки площадей зон возможного поражения при наводнениях, лесных пожарах, землетрясениях, авариях на опасных объектах, численности населения в этих зонах, построены функции безопасности, оценены вероятности гибели людей и получены количественные оценки индивидуальных рисков.

Наиболее значимые результаты этого периода опубликованы в работах [3–7, 12–17]. Важным обстоятельством стало то, что разработанные методические основы кризисных баз данных управления территориальными рисками, концепция и модели антропогенных рисков, технологии картографирования рисков с использованием геоинформационных систем обеспечили возможность оценки техногенного, природного и комплексного

рисков для территории в целом и муниципальных образований Красноярского края, Кемеровской и Иркутской областей, Республики Саха (Якутия) [1, 3, 12, 14–16, 27].

Этап III. Информационные системы и цифровые технологии безопасности. При анализе общей характеристики и состояния природно-техногенной и экологической безопасности СФО стало очевидным, что территориальные образования (субъект СФО, регион, промышленная агломерация, муниципальное образование) должны рассматриваться в формате социально-природно-техногенной системы (СПТ-системы) [18], включающей элементы техносферы, экосферы и социосферы и характеризующейся стратегическими рисками развития с учетом территориального фактора, масштабов, состава и уровня показателей развития. Задачи — мониторинг состояния техносферы и экосферы, организация системы управления антропогенными, экологическими, природными геодинамическими и территориальными рисками.

Для решения обозначенных целей и задач сформулирована концепция информационной системы территориального управления рисками и безопасностью (ИСТУ РБ) [19]. Основные задачи системы: мониторинг состояния всех элементов СПТ-системы; оценка индивидуальных и социальных рисков; комплексная характеристика состояния СПТ-систем, ранжирование территорий по степени риска с использованием ГИС-технологий; разработка региональных экологических нормативов; установление региональных уровней приемлемого риска; формирование программ и мероприятий, нацеленных на снижение уровня риска, разработка рекомендаций по повышению эффективности управления территориальными образованиями.

Накопленный опыт и полученные результаты в области природно-техногенной безопасности позволили перейти на новый уровень применения информационных и вычислительных технологий, что дало возможность решить ряд новых прикладных задач.

1. Разработка концепции и структуры цифрового паспорта безопасности территорий, интегрирующего данные мониторинга за состоянием природной среды, контроля объектов техносферы и характеристик социосферы [20]. Концепция паспорта увязывает виды возможных рисков и информационное обеспечение показателей рисков с параметрами управления территорией. С этой целью разработаны информационно-аналитические модели, консолидирующие данные комплексного мониторинга, средства динамического картографирования и веб-визуализации. Выполнена систематизация мероприятий по снижению рисков и смягчению последствий чрезвычайных ситуаций, позволяющая выделить стратегические задачи управления безопасностью с учетом физико-географических и социально-экономических характеристик территорий. Показана возможность реализации паспорта безопасности в виде цифровых двойников с учетом мультимодальности информационных потоков.
2. Формулировка методологии и реализация вычислительной технологии оценки техногенного территориального риска, включая показатели защищенности, на основе кластерного анализа и риск-ориентированного подхода для субъектов и муниципальных образований СФО [21–23]. В рамках данного подхода разработан алгоритм принятия управленческих решений на основе методов многомерного статистического анализа. Предложенная методика позволяет получать 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 ИСТУ РБ. В качестве объекта исследования рассматривались промышленные агломера-

ции 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.

3. Предложена методика оценки уровня комплексного территориального техногенного риска муниципальных образований Сибирского федерального округа. Анализ территорий проводился отдельно по разным видам административно-территориальных единиц: городам с населением свыше 70 тыс. человек, городам с населением менее 70 тыс. человек и муниципальным районам. Методы многомерной статистики позволили определить допустимый уровень риска для каждой территориальной группы. На основании иерархического кластерного анализа и комплексной оценки техногенного территориального риска проведено ранжирование территорий по уровню техногенной опасности (высокоопасные, повышенной опасности, безопасные). Для каждой группы городов и муниципальных образований установлены приемлемые уровни рисков.
4. Разработаны алгоритмы расчетной оценки нормативов качества атмосферного воздуха и питьевой воды с использованием методологии оценки приемлемых уровней риска здоровью населения под влиянием веществ канцерогенного и неканцерогенного действия. Показано, что уровни предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, рассчитанных в зависимости от величины приемлемых рисков, значительно ниже действующих санитарно-гигиенических нормативов, что требует их уточнения и пересмотра на региональном и федеральном уровнях.

Важнейшей составляющей работ последнего пятилетия стала подготовка материалов к публикации в 2023 г. двух томов многотомного издания “Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты” в рамках тематического блока “Региональные проблемы безопасности”, посвященных безопасности Сибирского федерального округа. Реализация данного проекта в значительной мере подведет итоги работы всех предыдущих исследований, инициированных и активно поддерживаемых академиком Ю.И. Шокиным.

3. Математическое и физическое моделирование в задачах конструкционной прочности, ресурса и безопасности технических систем

При решении прикладных задач конструкционной прочности, ресурса и безопасности сложных технических систем различного назначения, реализуемых на стадиях проектирования, производства и эксплуатации, осуществляется последовательный анализ расчетно-экспериментального комплекса прочность — ресурс — надежность — диагностика — живучесть — безопасность. Основу анализа составляют фундаментальные исследования в области механики деформируемого твердого тела, теории предельных состояний материалов и конструкций, теории риск-анализа и безопасности, технологии математического и физического моделирования, вычислительного эксперимента на основе цифровых моделей и цифровых двойников объектов. Основной инструментарий, используемый при решении прикладных задач, — численные методы исследования напряженно-деформированных и предельных состояний, универсальные пакеты

прикладных программ, как правило на базе метода конечных элементов, в сочетании с CAD/CAM/CAE-технологиями.

При практическом использовании данного подхода были развиты следующие группы расчетных моделей: структура и свойства конструкционных материалов, нагрузки и воздействия, технологическая и эксплуатационная дефектность, накопление и развитие повреждений, модели и вычислительные технологии анализа напряженно-деформированных и предельных состояний, модели наступления отказов и развития аварийных ситуаций, риск-анализа и безопасности. Анализ основных типов предельных состояний базируется на традиционных критериях прочности, дополнительных предельных состояний — на критериях механики разрушения. Во всех случаях предусматривалось введение соответствующих коэффициентов запаса по характеристикам прочности, ресурса и безопасности.

Временной точкой отсчета в формировании отмеченных методологических представлений следует признать создание под руководством Ю.И. Шокина в 1986 г. отдела проблем машиностроения в структуре Вычислительного центра СО АН СССР в Красноярске. Целевые задачи предполагали исследования в области низкотемпературной прочности, ресурса и надежности крупногабаритных машин и конструкций, разработку расчетно-экспериментальных и технологических методов обеспечения конструкционной прочности, создание автоматизированных систем проектирования и активное продвижение разработок на промышленных предприятиях региона. Перспективы развития исследований в области машиностроения Ю.И. Шокин связывал с широким внедрением компьютерных технологий и развитием вычислительных методов как основы автоматизированного проектирования и математического моделирования при решении задач создания перспективных машин и конструкций. Данная постановка, безусловно, вытекала из результатов, полученных ранее Ю.И. Шокиным в области разработки численных методов решения задач механики сплошной среды, имевших важное значение при создании специализированных программных комплексов прикладного назначения. Результаты исследований в рамках обозначенного направления отражены в обзорных публикациях [25–29] и ряде монографий [30–36] издательского проекта «Прочность. Механика разрушения. Ресурс. Безопасность технических систем», реализуемого с 2001 г. под редакцией В.В. Москвичева, Н.А. Махутова, Ю.И. Шокина. Разработанные расчетно-экспериментальные методы механики деформирования и разрушения, теории безопасности получили приложение в расчетах на стадиях проектирования и эксплуатации, при экспертизе причин отказов и разрушений машиностроительных и строительных конструкций, инженерных сооружений, подъемно-транспортной, горнодобывающей и горнотранспортной техники, оборудования тепловой энергетики и крупных ГЭС, резервуаров для хранения нефтепродуктов, сосудов давления и трубопроводных систем, элементов авиационной и космической техники [35].

4. Новые задачи и направления исследований

Состояние природно-техногенной и экологической безопасности регионов Сибири требует разработки и принятия свода нормативно-правовых актов регионального уровня. Основой законодательного обеспечения должны стать количественные оценки экологических и природно-техногенных рисков на основе базовых экологических критериев и показателей устойчивого развития, конкретизированных к условиям отдельных субъектов Сибирского федерального округа.

Контроль и мониторинг состояния экологической и природно-техногенной безопасности следует рассматривать как факторы стабилизации кризисных явлений в экономике, обеспечивающие сохранность и функционирование основных производственных фондов. Оценка уровня природных и техногенных рисков является основой экономических механизмов регулирования природно-техногенной и экологической безопасности. Снижение рисков ЧС обеспечивает более устойчивое функционирование экономического потенциала и повышает конкурентные (инвестиционные) преимущества региона.

Первоочередная задача — нормирование уровней рисков для стратегических и критически важных объектов экономики, промышленных и урбанизированных территорий регионов на базе данных мониторинга состояния природной среды и объектов техносферы.

Необходима активизация экологических исследований для крупных промышленных агломераций и территорий нового освоения при реализации современных инвестиционных проектов, при этом требуется обеспечить переход от традиционных экологических характеристик (ПДК, предельно допустимые выбросы и др.) к оценкам экологического состояния территорий в терминах рисков (индивидуальных, коллективных, комплексных, канцерогенных и неканцерогенных), позволяющих более полно конкретизировать влияние антропогенного воздействия на здоровье и качество жизни населения.

В области техногенной безопасности актуальными являются развитие методологии расчетно-экспериментального комплекса создания сложных технических систем (критерии предельных состояний, технологии конечно-элементного моделирования и физического эксперимента, мониторинг и диагностика технического состояния и др.) и ее взаимосвязи с теорией безопасности, включая анализ рисков аварийных ситуаций, для решения прикладных задач конструкционной прочности, ресурса, надежности и безопасности сложных технических систем.

Накопленный научный потенциал, практический опыт работы позволяют ставить вопрос о создании целевых программ по снижению рисков ЧС в отдельных субъектах СФО, организации глобальных систем мониторинга ЧС природного и техногенного характера, основными исполнителями которых должны стать институты СО РАН с участием заинтересованных сторон.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий.

Список литературы

- [1] Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. М.: МГФ “Знание”; 2001: 576.
- [2] Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Ничепорчук В.В. Методика оценки антропогенных рисков территорий и построения картограмм рисков с использованием геоинформационных систем. Вычислительные технологии. 2010; 15(1):120–131.
- [3] Москвичев В.В., Шокин Ю.И. Природно-техногенная безопасность и территориальные риски регионов Сибири. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2010; (6):35–45.

- [4] Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В. Кризисные базы данных для управления территориальными рисками. Вычислительные технологии. 2011. 16(6):115–125.
- [5] Лепихин А.М., Москвичев В.В., Шокин Ю.И., Чернякова Н.А. Антропогенные риски Сибири: концепции и модели. Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами / Под ред. И.Н. Ротановой. Барнаул: Пять плюс; 2011: 15–22.
- [6] Москвичев В.В., Шокин Ю.И. Антропогенные и природные риски на территории Сибири. Вестник Российской академии наук. 2012; (2):131–140.
- [7] Лепихин А.М., Москвичев В.В., Чернякова Н.А., Ничепорчук В.В. Оценка антропогенных рисков нефтегазодобывающих территорий Сибири. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2013; (5):42–52.
- [8] Левкевич В.Е., Москвичев В.В., Никитенко П.Г., Солодовников С.Ю., Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И. Устойчивое развитие и природно-техногенная безопасность территорий (Беларусь и Сибирь). Красноярск: Изд-во КГПУ им. В.П. Астафьева; 2010: 322.
- [9] Грабар Р.Н., Дорошенко Т.В., Колосов Г.В., Левкевич В.Е., Мишустин Н.А., Москвичев В.В., Никитенко П.Г., Подобедов И.И., Рошка Т.Б., Солодовников С.Ю., Филипенко В.С., Филипенко Е.В., Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И., Шумак В.В., Шумак Ж.Г. Основы обеспечения устойчивого развития территорий Беларуси и Сибирского региона России. Пинск: ПолесГУ; 2011: 218.
- [10] Левкевич В.Е., Москвичев В.В., Никитенко П.Г., Солодовников С.Ю., Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И. Проблемы экологических рисков и устойчивого развития территорий (на примере Республики Беларусь и Красноярского края России). Минск: Право и экономика; 2011: 315.
- [11] Никитенко П.Г., Левкевич В.Е., Москвичев В.В., Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И. Ноосферные аспекты устойчивого развития Беларуси и Сибирского региона России. Минск: Право и экономика; 2013: 217.
- [12] Левкевич В.Е., Лепихин А.М., Москвичев В.В., Никитенко П.Г., Ничепорчук В.В., Шапарев Н.Я., Шокин Ю.И. Безопасность и риски устойчивого развития территорий. Красноярск: Сиб. федер. ун-т; 2014: 224.
- [13] Москвичев В.В., Сибгатулин В.Г., Перетокин С.А. Контроль геодинамической опасности гидроузлов Центральной Сибири. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2011; (4):90–97.
- [14] Потапов В.П., Мазикин В.П., Счастливец Е.Л., Вашлаева Н.Ю. Геоэкология угледобывающих регионов Кузбасса. Новосибирск: Наука; 2005: 690.
- [15] Безопасность Республики Саха (Якутия): социальные, экологические и техногенные проблемы / Под ред. В.Ю. Фридовского, В.А. Прохорова. Новосибирск: Наука; 2008: 296.
- [16] Лепихин А.М., Москвичев В.В., Ничепорчук В.В., Тридворнов А.В. Оценка и районирование риска чрезвычайных ситуаций для территорий Красноярского края. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2007; (5):124–133.
- [17] Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И., Павлов Н.Ю., Москвичев В.В. Районирование территории Иркутской области по уровню риска на основе показателей опасности и уязвимости. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012; (1):73–81.

- [18] Махутов Н.А., Кузык Б.Н., Абросимов Н.В., Ахметханов Р.С., Баранов В.В., Гаденин М.М., Куксова В.И., Масленникова А.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.
- [19] Москвичев В.В., Бычков И.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Шокин Ю.И. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью. Вестник Российской академии наук. 2017; 87(8):696–705.
- [20] Москвичев В.В., Ничепорчук В.В., Потапов В.П., Тасейко О.В. Цифровой паспорт безопасности территорий промышленных агломераций и регионов. Вычислительные технологии. 2021; 26(6):110–132. DOI:10.25743/ICT.2021.26.6.008.
- [21] Москвичев В.В., Постникова У.С., Тасейко О.В. Управление техногенной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода. Проблемы управления. 2022; (3):16–28.
- [22] 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. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.009.
- [23] Москвичев В.В., Тасейко О.В., Иванова У.С., Черных Д.А. Базовые региональные риски развития территорий Сибирского федерального округа. Вычислительные технологии. 2018; 23(4):95–109.
- [24] Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Тасейко О.В., Вельская Е.Н. Определение нормативов качества окружающей среды на основе риск-ориентированного подхода. Вестник Российской академии наук. 2020; 90(12):1146–1155.
- [25] Москвичев В.В., Шокин Ю.И. Математическое моделирование в задачах конструкционной прочности и безопасности технических систем. Вычислительные технологии. 1999; 4(Спецвып.):100–110.
- [26] Москвичев В.В., Шокин Ю.И. Математическое моделирование и физический эксперимент в задачах конструкционной прочности технических систем. Вычислительные технологии. 2002; 7(Спецвып. Ч. 3.):271–273.
- [27] Москвичев В.В. Расчетно-экспериментальные методы повышения конструкционной прочности и безопасности технических систем. Вычислительные технологии. 2003; 8(Спецвып.):5–13.
- [28] Москвичев В.В., Шокин Ю.И., Буров А.Е., Доронин С.В., Крушенко Г.Г., Лепихин А.М., Черняев А.П. Модельные расчеты прочности и разрушения конструкций технических систем. Вычислительные технологии. 2004; 9(Спец. вып.):101–110.
- [29] Кулагин В.А., Москвичев В.В., Махутов Н.А., Маркович Д.М., Шокин Ю.И. Физическое и математическое моделирование в области гидродинамики больших скоростей на экспериментальной базе Красноярской ГЭС. Вестник Российской академии наук. 2016; 86(11):978–990.
- [30] Москвичев В.В., Махутов Н.А., Черняев А.П., Букаемский А.А., Буров А.Е., Зырянов И.А., Козлов А.Г., Кокшаров И.И., Крушенко Г.Г., Лепихин А.М., Мишин А.С., Москвичева Л.Ф., Федорова Е.Н., Цыплюк А.Н. Трещиностойкость и механические свойства конструкционных материалов технических систем. Новосибирск: Наука; 2002: 334.
- [31] Москвичев В.В. Основы конструкционной прочности технических систем и инженерных сооружений. Ч. 1: Постановка задач и анализ предельных состояний. Новосибирск: Наука; 2002: 106.

- [32] Буров А.Е., Кокшаров И.И., Москвичев В.В. Моделирование разрушения и трещиностойкость волокнистых металлокомполитов. Новосибирск: Наука; 2003: 173.
- [33] Лепихин А.М., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Черняев А.П. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем. Новосибирск: Наука; 2003: 174.
- [34] Доронин С.В., Лепихин А.М., Москвичев В.В., Шокин Ю.И. Моделирование прочности и разрушения несущих конструкций технических систем. Новосибирск: Наука; 2005: 250.
- [35] Москвичев В.В., Махутов Н.А., Шокин Ю.И., Лепихин А.М., Анискович Е.В., Буров А.Е., Гаденин М.М., Готовко С.А., Доронин С.В., Кашубский Н.И., Москвичев Е.В., Москвичева Л.Ф., Рейзмунт Е.М., Суходоева Н.В., Федорова Е.Н., Филиппова Ю.Ф., Чабан Е.А., Черняев А.П., Чернякова Н.А. Прикладные задачи конструкционной прочности и механики разрушения технических систем. Новосибирск: Наука; 2021: 796.
- [36] Москвичев В.В., Тестоедов Н.А., Васильев В.В., Халиманович В.И., Лепихин А.М., Анискович Е.В., Буров А.Е., Головенкин Е.Н., Доронин С.В., Еремин Н.В., Левко В.А., Москвичев Е.В., Похабов Ю.П., Разин А.Ф., Синьковский Ф.К., Филиппова Ю.Ф., Черняев А.П., Чернякова Н.А. Несущая способность и безопасность металлокомполитных баков космических аппаратов. Новосибирск: Наука; 2021: 440.

Natural and technogenic safety of Siberian regions: a retrospective of research and new challenges

MOSKVICHEV VLADIMIR V.

Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russia

Corresponding author: Moskvichev Vladimir V., e-mail: krasn@ict.nsc.ru

Received April 04, 2023, accepted April 17, 2023.

Abstract

The problem formulations, tasks and directions of scientific research in the field of natural and man-made safety of the Siberian regions during the forty-years of work performed at the institutes of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences are presented. Three stages of the research retrospective are highlighted, including regional aspects of environmental and technogenic safety, results of interdisciplinary integrated projects, joint research programs with the National Academy of Sciences of Belarus, stage of expanded application of information systems and computing technologies for modelling catastrophic processes of natural origin and emergency situations in the technosphere. Special attention is paid to the issues and results of monitoring and characterization of the state of natural and man-made safety, risk assessments of the development of the members of the Siberian Federal District, presented in the format of a review of scientific publications on the main areas of research. In the final part, the directions and tasks of prospective research in the field of natural, man-made and environmental safety of the regions of Siberia are formulated.

Keywords: natural-technogenic and ecological safety, sustainable development, mathematical modelling, anthropogenic impact, risk assessment.

Citation: Moskvicev V.V. Natural and technogenic safety of Siberian regions: a retrospective of research and new challenges. Computational Technologies. 2023; 28(3):25–40. DOI:10.25743/ICT.2023.28.3.003. (In Russ.)

Acknowledgements. The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for Federal Research Center for Information and Computational Technologies.

References

1. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Regional'nye problemy bezopasnosti. Krasnoyarskiy kray [Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Regional security issues. Krasnoyarsk Territory]. Moscow: MGF "Znanie"; 2001: 576. (In Russ.)
2. **Shokin Yu.I., Moskvicev V.V., Nicheporchuk V.V.** Technique for estimation of anthropogenous risks for territories and construction of risks cartograms using geoinformation systems. Computational Technologies. 2010; 15(1):120–131. (In Russ.)
3. **Moskvicev V.V., Shokin Yu.I.** Natural and technogenic security and territorial risks of Siberian regions. Problemy Bezopasnosti i Chrezvychaynykh Situatsiy. 2010; (6):35–45. (In Russ.)
4. **Shokin Yu.I., Moskvicev V.V., Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V.** Crisis databases for territorial risk management. Computational Technologies. 2011; 16(6):115–125. (In Russ.)
5. **Lepikhin A.M., Moskvicev V.V., Shokin Yu.I., Chernyakova N.A.** Antropogennyye riski Sibiri: kontseptsii i modeli. Geoinformatsionnye tekhnologii i matematicheskie modeli dlya monitoringa i upravleniya ekologicheskimi i sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami [Man-Made Hazards of Siberia: Concepts and Models. Geoinformation technologies and mathematical models for monitoring and management of ecological and socio-economic systems] / Rotanova I.N. (Ed.). Barnaul: Pyat Plyus; 2011: 15–22. (In Russ.)
6. **Moskvicev V.V., Shokin Yu.I.** Anthropogenic and natural risks on the territory of Siberia. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2012; (2):69–78.
7. **Lepikhin A.M., Moskvicev V.V., Tchernyakova N.A., Nicheporchuk V.V.** Man-made risk assessment for oil and gas producing areas of Siberia. Problemy Bezopasnosti i Chrezvychaynykh Situatsiy. 2013; (5):42–52. (In Russ.)
8. **Levkevich V.E., Moskvicev V.V., Nikitenko P.G., Solodovnikov S.Yu., Shaparev N.Ya., Shokin Yu.I.** Ustoychivoye razvitiye i prirodno-tekhnogennaya bezopasnost' territoriy (Belarus' i Sibir') [Sustainable development and natural and technogenic security of territories (Belarus and Siberia)]. Krasnoyarsk: Izd-vo KGPU im. V.P. Astaf'eva; 2010: 322. (In Russ.)
9. **Grabar R.N., Doroshenko T.V., Kolosov G.V., Levkevich V.E., Mishustin N.A., Moskvicev V.V., Nikitenko P.G., Podobedov I.I., Roshka T.B., Solodovnikov S.Yu., Filipenko V.S., Filipenko E.V., Shaparev N.Ya., Shokin Yu.I., Shumak V.V., Shumak Zh.G.** Osnovy obespecheniya ustoychivogo razvitiya territoriy Belarusi i Sibirskogo regiona Rossii. [Fundamentals of sustainable development of the territories of Belarus and the Siberian region of Russia]. Pinsk: PolesGU; 2011: 218. (In Russ.)
10. **Levkevich V.E., Moskvicev V.V., Nikitenko P.G., Solodovnikov S.Yu., Shaparev N.Ya., Shokin Yu.I.** Problemy ekologicheskikh riskov i ustoychivogo razvitiya territoriy (na primere Respubliki Belarus' i Krasnoyarskogo kraya Rossii) [Problems of environmental risks and sustainable development of territories (on the example of the Republic of Belarus and the Krasnoyarsk Territory of Russia)]. Minsk: Pravo i Ekonomika; 2011: 315. (In Russ.)
11. **Nikitenko P.G., Levkevich V.E., Moskvicev V.V., Shaparev N.Ya., Shokin Yu.I.** Noosfernye aspekty ustoychivogo razvitiya Belarusi i Sibirskogo regiona Rossii [Noospheric aspects of sustainable development of Belarus and the Siberian region of Russia]. Minsk: Pravo i Ekonomika; 2013: 217. (In Russ.)
12. **Levkevich V.E., Lepikhin A.M., Moskvicev V.V., Nikitenko P.G., Nicheporchuk V.V., Shaparev N.Ya., Shokin Yu.I.** Bezopasnost' i riski ustoychivogo razvitiya territoriy [Security and risks of sustainable development of territories]. Krasnoyarsk: Sib. Feder. Un-t; 2014: 224. (In Russ.)
13. **Moskvicev V.V., Sibgatulin V.G., Peretokin S.A.** Geodynamic hazard control hydroelectric of central Siberia. Problemy Bezopasnosti i Chrezvychaynykh Situatsiy. 2011; (4):90–97. (In Russ.)

14. **Potapov V.P., Mazikin V.P., Schastlivtsev E.L., Vashlayeva N.Yu.** Geoekologiya ugledobyvayushchikh regionov Kuzbassa [Geocology of coal-mining regions of Kuzbass]. Novosibirsk: Nauka; 2005: 690. (In Russ.)
15. Bezopasnost' Respubliki Sakha (Yakutiya): sotsial'nyye, ekologicheskiye i tekhnogenyye problemy [Security of the Republic of Sakha (Yakutia): social, environmental and technogenic problems] / V.Yu. Fridovsky, V.A. Prokhorov (Eds). Novosibirsk: Nauka; 2008: 296. (In Russ.)
16. **Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Tridvornov A.V.** Estimation and zoning of extreme situations risk for territory of Krasnoyarsk region. Problemy Bezopasnosti i Chrezvychaynykh Situatsiy. 2007; (5):124–133. (In Russ.)
17. **Berman A.F., Nikolaichuk O.A., Pavlov A.I., Pavlov N.Yu., Moskvichev V.V.** Zoning of the Irkutsk region in terms of risk based on danger and vulnerability indexes. Problemy Bezopasnosti i Chrezvychaynykh Situatsiy. 2012; (1):73–81. (In Russ.)
18. **Makhutov N.A., Kuzyk B.N., Abrosimov N.V., Akhmetkhanov R.S., Baranov V.V., Gadenin M.M., Kuksova V.I., Maslennikova A.V. etc.** Nauchnyye osnovy prognozirovaniya i prognoznye pokazateli sotsial'no-ekonomicheskogo i nauchno-tekhnicheskogo razvitiya Rossii do 2030 goda s ispol'zovaniyem kriteriev strategicheskikh riskov [Scientific foundations of forecasting and predictive indicators of socio-economic and scientific-technical development of Russia until 2030 using strategic risk criteria]. Moscow: INES; 2011: 136. (In Russ.)
19. **Moskvichev V.V., Bychkov I.V., Potapov V.P., Taseiko O.V., Shokin Yu.I.** Information system for territorial risk and safety management development. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017; 87(8):696–705. (In Russ.)
20. **Moskvichev V.V., Nicheporchuk V.V., Potapov V.P., Taseiko O.V.** Digital pattern of safety of a territory. Computational Technologies. 2021; 26(6):110–132. DOI:10.25743/ICT.2021.26.6.008. (In Russ.)
21. **Moskvichev V.V., Postnikova U.S., Taseiko O.V.** Management of technogenic safety based on a risk-oriented approach. Control Sciences. 2022; (3):13–23.
22. **Moskvichev V.V., Postnikova U.S., Taseiko O.V.** Cluster analysis in the assessment of territorial risks for social-natural-technogenic systems. Computational Technologies. 2022; 27(3):112–124. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.009. (In Russ.)
23. **Moskvichev V.V., Taseiko O.V., Ivanova U.S., Chernykh D.A.** Basic regional risks of territorial development for Siberian federal district. Computational Technologies. 2018; 23(4):95–109. (In Russ.)
24. **Shokin Yu.I., Moskvichev V.V., Taseiko O.V., Bel'skaya E.N.** Determination of environmental quality standards proceeding from the risk-based approach. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2020; 90(6):755–764.
25. **Moskvichev V.V., Shokin Yu.I.** Mathematical modeling for problems of structural integrity and safety of technical systems. Computational Technologies. 1999; 4(Special issue):100–110. (In Russ.)
26. **Moskvichev V.V., Shokin Yu.I.** Mathematical modeling and physical experiment in problems of structural strength of technical systems. Computational Technologies. 2002; 7(Special issue. Pt 3):271–273. (In Russ.)
27. **Moskvichev V.V.** Development of methods to assess the strength and safety of technical systems. Computational Technologies. 2003; 8(Special issue):5–13. (In Russ.)
28. **Shokin Yu.I., Burov A.E., Doronin S.V., Krushenko G.G., Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Chernyaev A.P.** Model calculations on strength and fracture for structures of technical systems. Computational Technologies. 2004; 9(Special issue):101–110. (In Russ.)
29. **Kulagin V.A., Moskvichev V.V., Makhutov N.A., Markovich D.M., Shokin Yu.I.** Physical and mathematical modeling in the field of high-velocity hydrodynamics in the experimental base of the Krasnoyarsk hydroelectric plant. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2016; (6):454–465.
30. **Moskvichev V.V., Makhutov N.A., Chernyayev A.P., Bukayemskiy A.A., Burov A.E., Zyryanov I.A., Kozlov A.G., Koksharov I.I., Krushenko G.G., Lepikhin A.M., Mishin A.S., Moskvicheva L.F., Fedorova E.N., Tsyplyuk A.N.** Treshchinostoykost' i mekhanicheskiye svoystva konstruktsionnykh materialov tekhnicheskikh sistem [Crack resistance and mechanical properties of structural materials of technical systems]. Novosibirsk: Nauka; 2002: 334. (In Russ.)
31. **Moskvichev V.V.** Osnovy konstruktsionnoy prochnosti tekhnicheskikh sistem i inzhenernykh sooruzheniy. Ch. 1: Postanovka zadach i analiz predel'nykh sostoyaniy [Fundamentals of structural strength of technical systems and engineering structures. Pt 1: Problem statement analysis of limit states]. Novosibirsk: Nauka; 2002: 106. (In Russ.)

32. **Burov A.E., Koksharov I.I., Moskvichev V.V.** Modelirovanie razrusheniya i treshchinostoykost' voloknistykh metallokompozitov [Fracture modelling and crack resistance of fibrous metal composites]. Novosibirsk: Nauka; 2003: 173. (In Russ.)
33. **Lepikhin A.M., Makhutov N.A., Moskvichev V.V., Chernyaev A.P.** Veroyatnostnyy risk-analiz konstruktsiy tekhnicheskikh system [Probabilistic risk analysis of technical system designs]. Novosibirsk: Nauka; 2003: 174. (In Russ.)
34. **Doronin S.V., Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Shokin Yu.I.** Modelirovanie prochnosti i razrusheniya nesushchikh konstruktsiy tekhnicheskikh system. [Simulation of strength and destruction of supporting structures of technical systems]. Novosibirsk: Nauka; 2005: 250. (In Russ.)
35. **Moskvichev V.V., Makhutov N.A., Shokin Yu.I., Lepikhin A.M., Aniskovich E.V., Burov A.E., Gadenin M.M., Gotovko S.A., Doronin S.V., Kashubskiy N.I., Moskvichev E.V., Moskvicheva L.F., Reyzmunt E.M., Sukhodoyeva N.V., Fedorova E.N., Filippova Yu.F., Chaban E.A., Chernyayev A.P., Chernyakova N.A.** Prikladnye zadachi konstruktsionnoy prochnosti i mekhaniki razrusheniya tekhnicheskikh system. [Applied problems of structural strength and fracture mechanics of technical systems]. Novosibirsk: Nauka; 2021: 796. (In Russ.)
36. **Moskvichev V.V., Testoedov N.A., Vasil'yev V.V., Khalimanovich V.I., Lepikhin A.M., Aniskovich E.V., Burov A.E., Golovenkin E.N., Doronin S.V., Eremin N.V., Levko V.A., Moskvichev E.V., Pokhabov Yu.P., Razin A.F., Sin'kovskiy F.K., Filippova Yu.F., Chernyayev A.P., Chernyakova N.A.** Nesushchaya sposobnost' i bezopasnost' metallokompozitnykh bakov kosmicheskikh apparatov [Bearing capacity and safety of metal-composite spacecraft tanks]. Novosibirsk: Nauka; 2021: 440. (In Russ.)