



**Концептуальное моделирование системы прогнозирования  
вызванных опасными отходами чрезвычайных ситуаций**

**Э.С. Цховребов<sup>1✉</sup>, С.З. Калаева<sup>2</sup>,  
В.Б. Петропавловская<sup>3</sup>, Ф.Х. Ниязгулов<sup>4</sup>**

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

<sup>2</sup>Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия

<sup>3</sup>Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

<sup>4</sup>Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

**Аннотация.** Актуальность проводимого исследования – в проблеме неполной урегулированности правоотношений в области прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Данная проблема служит немаловажным фактором и условием образования непредсказуемых, неконтролируемых процессов формирования и развития экологической опасности, угроз и рисков, способствует предпосылкам возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Цель исследования заключается в системной оценке и выработке путей решения проблем предупреждения неблагоприятных техносферных ситуаций на территориях муниципальных образований в условиях всевозрастающего техногенного воздействия отходов производства и потребления. Акцент в работе делается на поиск методов, организационно-технических систем предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, сопутствующих им социально-экономических, экологических и иных неблагоприятных последствий для жизнедеятельности населения. Проводится системный анализ количественных и качественных показателей, параметров, факторов, условий, влияющих и воздействующих на события, процессы образования источников экологической опасности в виде завершившей свой срок эксплуатации, использованной, бывшей в употреблении строительной и иной продукции, образовавшейся в процессе жизнедеятельности людей, жизнеобеспечения населенных пунктов. По результатам проведенных совместных исследований настоящей работы авторами сделана попытка сформировать идеализированную концептуальную модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами производства и потребления жизнеобеспечения техносферных территорий.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, прогнозирование, мониторинг, техносферная опасность, коммунальное хозяйство, жизнеобеспечение, отходы, концептуальная модель

**Для цитирования:** Цховребов Э.С., Калаева С.З., Петропавловская В.Б., Ниязгулов Ф.Х. Концептуальное моделирование системы прогнозирования вызванных опасными отходами чрезвычайных ситуаций // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 4. С. 702–715. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-702-715>. EDN: QRLFTM.

**Original article**

**Conceptual modeling of a forecasting system for hazardous waste emergencies**

**Eduard S. Tshovrebov<sup>1✉</sup>, Sahiba Z. Kalaeva<sup>2</sup>,  
Victoria B. Petropavlovskaya<sup>3</sup>, Filyuz Kh. Niyazgulov<sup>4</sup>**

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

<sup>2</sup>Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

<sup>3</sup>Tver State Technical University, Tver, Russia

<sup>4</sup>Russian University of Transport, Moscow, Russia

© Цховребов Э.С., Калаева С.З., Петропавловская В.Б., Ниязгулов Ф.Х., 2023

**Abstract.** The relevance of the study consists in the problem of incompletely regulated legal relations in the field of emergency forecasting. This problem represents an important factor and condition for the unpredictable and uncontrolled generation and development of environmental hazards, threats and risks, as well as contributes to the preconditions for the occurrence of natural and technogenic emergencies. The study aims to systematically assess and develop ways to solve the problems of preventing unfavorable technospheric situations in municipal territories in the context of an ever-increasing technogenic impact of production and consumption wastes. The study emphasises the search for methods, organisational-technical measures and best available technologies for preventing natural and technogenic emergencies, as well as their socio-economic, natural-resource, environmental and other adverse consequences. A system analysis of quantitative and qualitative indicators, parameters, factors and conditions, affecting events and formation processes of environmental hazard sources, represented by end-of-life, spent, utilised construction and other products, formed in the process of human activity and life support of settlements, is carried out. Based on the results of a joint research, the authors made an attempt to form an idealised conceptual model of a resource-saving system for an environmentally safe management of life support production and consumption wastes in technospheric territories.

**Keywords:** environmental safety, forecasting, monitoring, technosphere hazard, public utilities, life support, waste, conceptual model

**For citation:** Tshovrebov E.S., Kalaeva S.Z., Petropavlovskaya V.B., Niyazgulov F.Kh. Conceptual modeling of a forecasting system for hazardous waste emergencies. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(4):702-715. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-4-702-715>. EDN: QRLFTM.

## ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование научной и методической базы в сфере прогнозирования, выявления и предупреждения угроз экологической безопасности определено в Стратегии экологической безопасности России в качестве одной из основ обеспечения экологической безопасности в Российской Федерации.

В ходе исследования обращено внимание на то, что методологической основой прогнозирования служит теория развития объекта, раскрывающая существо закономерностей и содержание основных причинно-следственных связей рассматриваемого процесса. Методы прогнозирования позволяют найти меру влияния отдельных закономерностей и причин на общую тенденцию развития. Это позволяет представить объект прогноза как динамическую систему, поведение которой определяется взаимодействием различных явлений и тем самым представить с определенной степенью вероятности поведение этой системы в будущем.

Проведенные исследования сложных регулятивно-управленческих и организационно-технических систем (одной из которых является прогнозирование ЧС) показали, что при проектировании сложной системы практически в любой предметной области изначально должен быть сформулирован некоторый

определяющий ее замысел – концепция. При этом определяющий замысел для системы в большинстве случаев выражается абстрактно – на стадии общепринятых понятий или уже установленных терминов в законодательстве. Осуществленный в ходе исследования ретроспективный, сопоставительный, сравнительный анализ подобных систем приводит к выводу, что, чем масштабнее и сложнее проектируемая система, тем выше должен быть уровень используемой абстракции.

В связи с этим, в рамках настоящего исследования, осуществлен поиск методов и инструментов научного исследования, позволяющих наиболее оптимально и эффективно решить поставленную исследовательскую задачу в части совершенствования механизмов и методов прогнозирования техногенных ЧС и их неблагоприятных последствий для безопасной, благоприятной жизнедеятельности населения, окружающей среды, объектов экономики.

С учетом всех особенностей предмета и объекта исследования, государственной важности реализуемых МЧС России целей и задач, высокого уровня ответственности за их исполнение перед российским обществом, приоритета выстраивания эффективной отечественной системы предотвращения ЧС, выдвинуто предположение о том, что концепту-

альное моделирование данной системы может позволить наиболее рационально отразить основные направления совершенствования системы прогнозирования как важнейшего механизма предупреждения ЧС, их опасных экологических последствий. Объектом моделирования послужила система обращения с наиболее опасными техносферными объектами, являющимися потенциальным источником возникновения техногенных ЧС - отходами производства и потребления.

#### МЕТОДЫ

Материалами для проведения исследования послужили опубликованные достигнутые научные результаты отечественных и зарубежных ученых в сфере оценки, анализа рисков угроз ЧС и мер их преодоления<sup>1</sup> [1–4], предотвращения неблагоприятного техносферного воздействия источников экологической опасности на жизнедеятельность населения [5–9], техносферной безопасности [10–14], техногенного воздействия процессов обращения опасных отходов [15–19], ресурсосберегающих систем экологически безопасного обращения вторичных ресурсов [20–24]. В работе использованы результаты собственных исследований авторов [25–29].

В качестве методов и инструментов проведения настоящего исследования выступили: обобщение, систематизация, их композиция, сопоставительный и сравнительный анализ собранных материалов и данных. Материалами для проведения исследования послужили: опубликованные результаты научных исследований отечественных и зарубежных авторов. информационные данные, материалы собственных исследований.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования проведено обобщение и систематизация материалов в области негативного воздействия отходов производства и потребления как источников

возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Основной целью построения концептуальной модели прогнозирования техногенных ЧС и их последствий послужило отображение фундаментальных принципов, приоритетов и основных функциональных возможностей реальной системы прогнозирования, которую она представляет в целях выработки механизмов и методов ее совершенствования, оптимизации, повышения эффективности мер, систем, технологий предотвращения ЧС.

На этапе построения и структурирования модели, определённой как формализованное описание совокупности множества понятий, объектов, предметов и связей между ними, процесс моделирования объекта исследования выполнен на основании алгоритмов концептуального моделирования по методу «сущность-связь» Он увязывал предмет, объект и контекст области исследования в виде системы внешних, внутренних условий существования объекта и факторов, условий, оказывающих на него влияние в изучаемом аспекте. В процессе формирования, структурирования концептуальной модели моделирование перехода между статическими состояниями в рамках динамического описания системы для оценки её поведения, текущих и прогнозных изменений основано на методах системной динамики: построении графических логико-аналитических диаграмм причинно-следственных связей и влияний стадий, факторов, параметров в развитии.

Абстрактное отображение процессов перехода состояний «проблема – замысел – решение - воплощение», реализовано в виде диаграмм (текущих состояний, их трансформации при внешнем воздействии, разрешения ситуации с переходом в конечное состояние). В общем виде схематично этот процесс показан на рис. 1 .

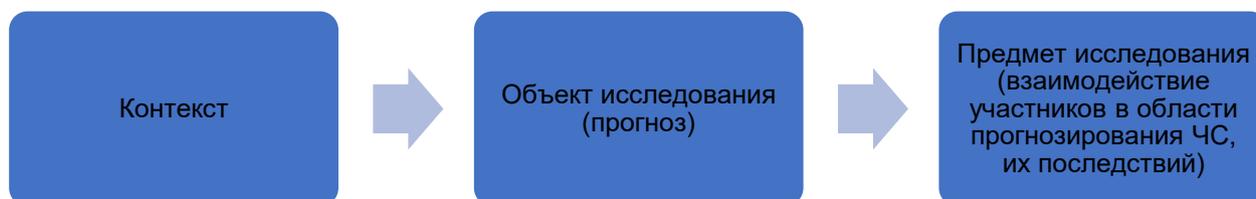


Рис. 1. Логическая структура концептуальной модели  
 Fig. 1. Logical structure of the conceptual model

<sup>1</sup>Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах: учеб. пособие. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с. EDN: PSWVKX.

Основными этапами построения концептуальной модели прогнозирования ЧС определены:

- а) установление цели;
- б) определение входных и выходных переменных;
- в) выявление управляющих и возмущающих воздействий, факторов, условий, ограничений;
- г) установление наиболее характерных свойств;
- д) формирование структуры концептуальной модели.

При разработке концептуальной модели принималось во внимание, что для эффективного применения такого вида Оптимальное решение в области прогнозирования ЧС, по замыслу разработчиков механизма, должно быть: а. возможным (у субъекта имеются средства и ресурсы); б. реализуемым (внешние ограничения позволяют его реализовать); в. измеримым (результат выполнения решения измерим).

Принято во внимание, что внешняя среда препятствует реализации механизмов, действий, мер, мероприятий. Тогда предотвращение, смягчение, снижение, преодоление угроз, образует конкретные цели процесса прогнозирования. При этом, обстоятельства варьируют: а. угрозы и опасности; б. потенциальные и реальные возможности; планируемые организационно-технические, регулирующие, управленческие мероприятия, действия, принимаемые меры.

Однако достигаемое безопасное состояние представляет собой подмножество системы заблаговременного полноценного, достоверного и объективного прогноза.

Целеполагание переводит систему из опасного состояния в безопасное, приближая ее к стратегическому конечному состоянию безопасности жизнедеятельности, устойчивости социально-экономического развития, изменяя тем самым потенциальные возможности участников, принимаемые меры, действия, виды, состав, уровень опасности угроз. Сформулированная конфигурация нового подхода к системе прогнозирования ЧС, ядром которой служит предупреждение опасности в источнике ее зарождения, задали целеполагание, начальные и конечные граничные условия создания идеализированной концеп-

туальной модели системы прогнозирования ЧС техногенного характера, задачами которой определены:

а) системное описание, интерпретация в символично-графической форме оригинала модели, его элементов, границ, параметров, функциональных зависимостей, их изменения во времени, целевых функций, моделируемых процессов посредством абстрактного отображения динамического механизма запуска недостаточно отлаженной и не в полной мере сбалансированной системы прогнозирования ЧС, не способствующей в полной мере предотвращению неблагоприятных последствий ЧС для окружающей среды, безопасности и благоприятности жизнедеятельности населения, устойчивости объектов экономики;

б) исследование полного состава этапов, периодов, методов прогнозирования ЧС, их связи с функционирующими системами жизнеобеспечения, изучение влияния факторов, условий, ограничений внешней среды на взаимодействующие элементы, процессы, события, явления;

в) установление наиболее существенных причинно-следственных связей моделируемой системы для решения задачи предотвращения возникновения ЧС и их неблагоприятных последствий;

г) определение взаимосвязанных понятий, лежащих в основе выстраиваемой методологии, содержащей основные приоритеты, цели, задачи, методы, алгоритмы прогнозирования ЧС.

В настоящей работе концептуальное моделирование системы прогнозирования ЧС техногенного характера и их опасных последствий реализовано на примере формирования ресурсосберегающей системы экологически безопасной обращения с отходами.

Стратегия концептуального моделирования реализуется на основе идеи о том, что предотвращение экологической опасности отходов может быть достигнуто:

- а) на этапе зарождения такой опасности;
- б) посредством трансформации на данном этапе ресурсных элементов завершившей свой срок эксплуатации, использованной, бывшей в употреблении продукции во вторичные материальные и энергетические ресурсы.

Тогда целью концептуальной модели прогноза системы экологически безопасного об-

ращения с отходами служит прогнозирование количеств. ресурсного потенциала, степени опасности, условий и возможностей возврата отходов производства и потребления (как потенциальных источников возникновения техногенных ЧС) в виде безопасных вторичных ресурсов в хозяйственный оборот на отраслевом и региональном уровнях.

Поставленная цель предопределила задачи, предшествующие процессу прогнозирования:

- комплексная система мониторинга источников экологической опасности;
- технико-экономическая оценка этапов жизненного цикла техногенных объектов – продуктов жизнедеятельности человека с точки зрения циклов возврата в хозяйственный оборот без негативного воздействия на окружающую среду при приоритете обеспечения предупреждения негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей;
- сравнительный экономический анализ существующей (экологически опасной) и инновационной (экономически эффективной) систем обращения с отходами и вторичными ресурсами;
- выбор наиболее эффективной системы обращения ВР на уровне региона, в отраслевом разрезе;
- выработку оптимальных управленческих решений на различных уровнях хозяйствования: предприятие – корпорация - отрасль;
- оптимальное размещение объектов инфраструктуры по отдельному сбору, изолированному накоплению, обработке, утилизации отходов;
- оценка предотвращенных экологических рисков. угроз экологической опасности, экологического вреда и сопряженного с ним экономического ущерба;
- оценка экономии стратегического запаса невозобновляемого ресурсного потенциала

региона (полезные ископаемые, лесные и водные ресурсы) в результате замены вторичными ресурсами.

Формирование и системное описание модели базируется на сопоставлении действующей системы обращения с отходами и предлагаемой идеализированной, обеспечивающей состояние экологической безопасности, предотвращение техногенных ЧС и их неблагоприятных экологических, социально-экономических и иных последствий.

Существующая схема обращения с отходами (стадии: использованная продукция - хозяйствующий субъект) схематично показана на рис. 2.

В принципиально новой предлагаемой идеализированной модели инновационной системы схема этапов обращения отходов и вторичных ресурсов при отдельном сборе и внедрении технологий обработки, утилизации, обезвреживания отходов кардинально изменена (рис. 3).

При трансформации системы обращения с вторичными ресурсами существенно претерпевает изменение моделируемые количественные и качественные параметры. Комплекс моделируемых количественных показателей при внедрении инновационной системы обращения с вторичными ресурсами представлен в табл. 1., экономических – в табл. 2.

Сравнение прогнозируемых результатов реализации действующей инерционной и предлагаемой инновационной моделей обращения с отходами и вторичными ресурсами на региональном уровне представлено в табл. 3.

Сформированная на основе метода концептуального моделирования идеализированная модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами жизнеобеспечения территорий представлена в формализованном виде на схеме – рис. 4.

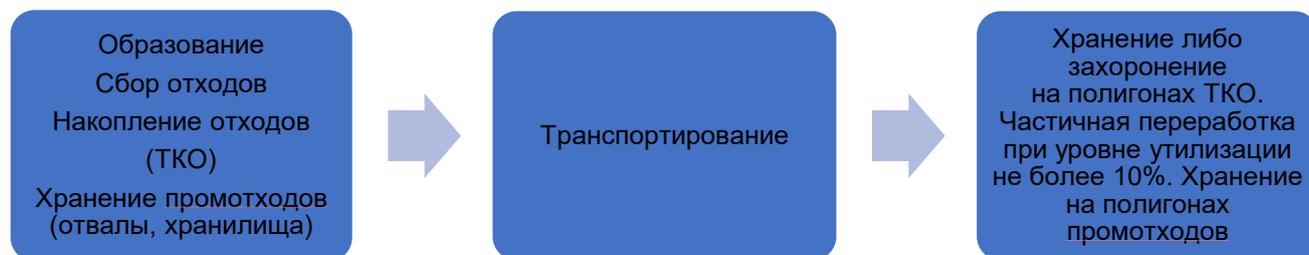


Рис. 2. Существующая схема обращения с отходами  
Fig. 2. Existing waste management scheme

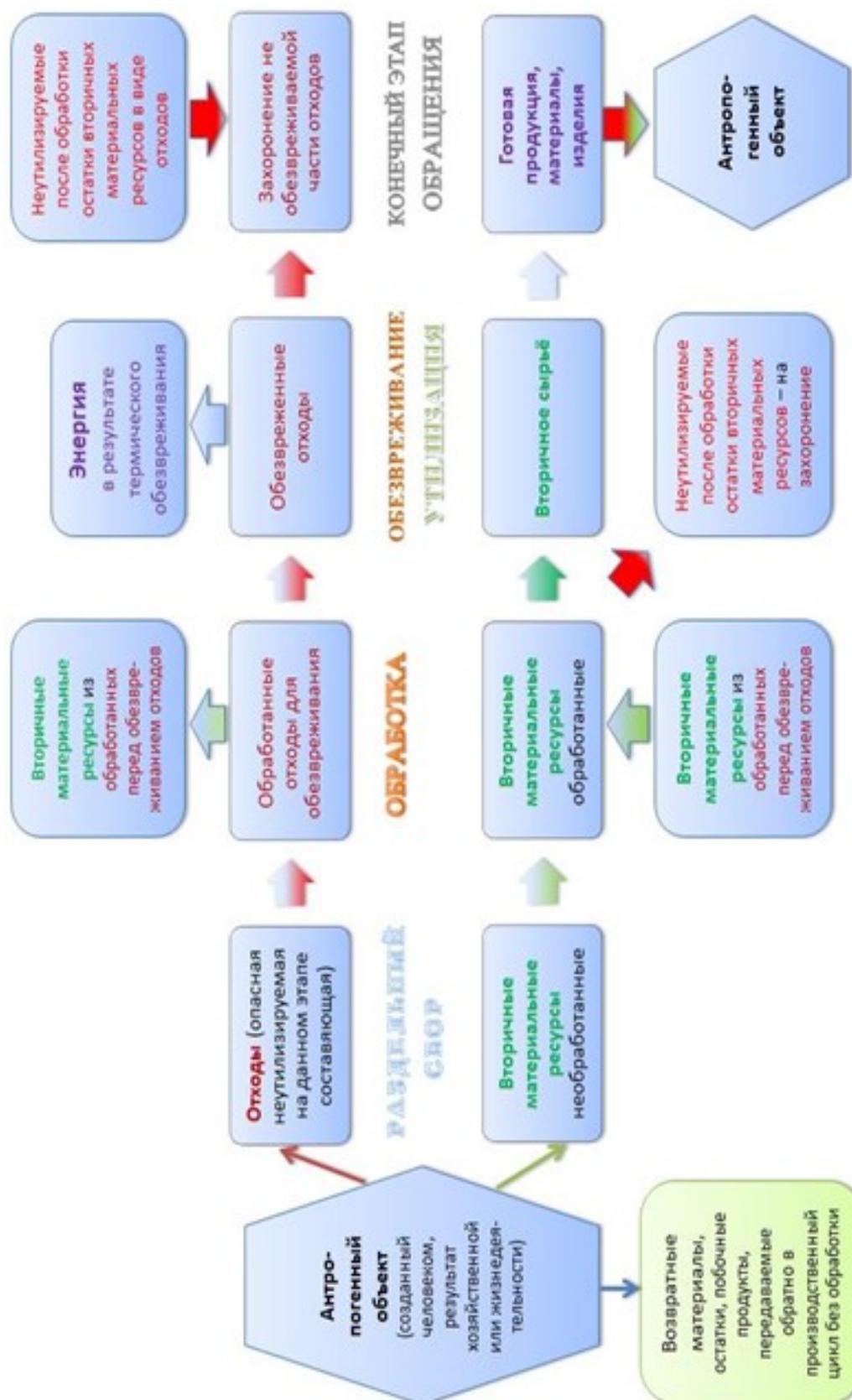


Рис. 3. Предлагаемая схема ресурсосберегающего обращения с отходами  
 Fig. 3. Proposed scheme for resource-saving waste management

**Таблица 1.** Комплекс моделируемых количественных показателей при внедрении инновационной системы обращения с вторичными ресурсами

**Table 1.** A set of simulated quantitative indicators for the implementation of an innovative system for the management of secondary resources

Раздельный сбор	Количество раздельно собранных отходов по видам, агрегатному состоянию, классу опасности (т/год) Количество видов вторичных ресурсов, выделенных и реализованных на стадии раздельного сбора (т/год) Количество выделенного на стадии сбора побочного продукта (возвратного сырья), возвращенного в производство (т/год)
Обработка	Количество транспортируемых отходов на км на мусоросортировочные комплексы, вторсырья – на предприятия по изготовлению продукции, не утилизируемых отходов – на комплексы высокотемпературного обезвреживания Плечо транспортирования Количество обработанных отходов (т/год) Количество полученного в результате обработки вторсырья, ВР по видам (т) Количество не утилизируемых отходов, полученных в результате обработки (т/год)
Утилизация, обезвреживание	Количество обезвреженных отходов по видам, классам опасности и технологиям обезвреживания (т/год) Количество Генерируемой тепловой энергии (Гкал/год) Количество Поступивших на утилизацию обработанных отходов в виде ВР (т/год) Количество видов продукции, сырья, изготовленных из ВР Количество образовавшихся не утилизируемых отходов в процессе Изготовления продукции из ВР (т/год)
Конечный этап обращения	Количество не утилизируемых, не подлежащих обезвреживанию отходов, полученных в результате обезвреживания шлаков (т/год)

**Таблица 2.** Комплекс моделируемых экономических показателей при внедрении инновационной системы обращения с вторичными ресурсами

**Table 2.** A set of simulated economic indicators in the implementation of an innovative system for the management of secondary resources

Раздельный сбор	Капитальные вложения на оборудование, технику для организации системы раздельного сбора (тыс. руб). Текущие затраты на раздельный сбор отходов по видам, агрегатному состоянию, классу опасности (руб). Стоимость погрузочно-разгрузочных работ. Стоимость вторичных ресурсов, выделенных и реализованных на стадии раздельного сбора отходов (руб/т). Стоимость возвращенного в производство возвратного сырья
Обработка	Инвестиции в строительство сортировочных комплексов, мусороперегрузочных станций, парк автомобильной и погрузочно-разгрузочной техники, устройств. Эксплуатационные расходы на обработку 1 т отходов. Стоимость транспортировки 1 т отходов на 1 км на сортировочные комплексы вторсырья – на предприятия, не утилизируемых отходов – на обезвреживание
Утилизация, обезвреживание	Обезвреживание: Инвестиции в строительство комплексов Эксплуатационные расходы на обезвреживание (пиролиз, высокотемпературное сжигание, нейтрализация, плазменная обработка) Стоимость производства и реализации 1 Гкал тепловой энергии (тыс. руб/1 Гкал) Утилизация: Капитальные вложения в строительство комплекса или модернизацию действующего производства Эксплуатационные расходы на утилизацию (тыс. руб/год) Цена закупки 1 т ВР (руб) Стоимость реализуемого вторсырья (тыс. руб.)
Конечный этап обращения	Тариф на захоронение не утилизируемых, не подлежащих обезвреживанию отходов, полученных в результате обезвреживания шлаков. Платежи за негативное воздействие на окружающую среду Затраты на эксплуатацию спецполигонов размещения таких отходов Экономический ущерб Налоги: имущественный, земельный

**Таблица 3.** Сравнительные характеристики инерционной и инновационной системы обращения отходов

**Table 3.** Comparative characteristics of inertial and innovative waste management system

<p>Инерционная модель</p>	<p>Отсутствие комплексных мероприятий по ресурсосбережению, внедрению безотходных, малоотходных технологий, снижению количеств образующихся отходов; разделному сбору отходов с хозяйствующих субъектов и населения; Устройство пунктов низкотехнологичной полуавтоматической сортировки отходов на полигонах ТКО с уровнем извлечения ценных компонентов из общей массы поступающих отходов до 10%                  Дальнейшая эксплуатация существующих полигонов ТКО и открытие новых; рост количества несанкционированных свалок                  Низкий уровень эффективности организационно-технических мероприятий и технологической инфраструктуры обработки, утилизации и обезвреживания отходов                  Отсутствие региональной поддержки и мер экономического стимулирования выпуска продукции, проведения работ, получения энергии с использованием вторичных материальных и энергетических ресурсов                  Потери земельных ресурсов в результате их изъятия и уничтожения плодородного слоя почвы под полигоны и свалки, отвалы и хвостохранилища промышленных отходов                  Рост экономического ущерба (размера экологического вреда) в результате загрязнения почв, недр, лесных и водных ресурсов, атмосферного воздуха                  Увеличение финансовой нагрузки на хозяйствующие субъекты региона в виде средств экологического сбора, платежей за НВОС, штрафных санкций, взысканий экологического вреда за размещение отходов и нарушение правил их обращения                  Увеличение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций с негативными экологическими, социально-экономическими последствиями, вызванные нарушением требований законодательства в области обращения с отходами, неразвитости и низкой технологичности, экологической опасности инфраструктуры по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов</p>
<p>Инновационная модель</p>	<p>Внедрение системы отдельного сбора отходов на предприятиях и в системе ЖКХ, включая стационарные и передвижные пункты, с извлечением вторичных ресурсов и побочных продуктов (возвратного сырья) на стадии образования отходов не менее 10–20% – уменьшение количеств образования отходов и соответственно платежей предприятий за негативное воздействие на окружающую среду (размещение отходов)                  Внедрение системы многофункциональных сортировочных комплексов и мусороперегрузочных станций с оптимальным плечом транспортирования не более 25 км – с извлечением различных видов вторичных ресурсов на стадии обработки отходов – не менее 30–40%                  Модернизация, расширение, реконструкция действующей промышленной базы и/или строительство производственно-технических комплексов, эко-индустриальных парков по утилизации отходов, использованию вторичных ресурсов для изготовления продукции, проведения работ, оказания услуг, получения энергии – создание научно-промышленных кластеров – концентрация и повышение эффективности производства                  Региональная государственная поддержка и меры экономического стимулирования выпуска продукции, проведения работ, генерации энергии с использованием ВР                  Строительство комплексов по обезвреживанию не утилизируемых отходов с получением тепловой энергии - в целях достижения уровня захоронения не более 10-15% от общего количества образующихся в регионе отходов                  Снижение экологического вреда на 85-90%; высвобождение и рекультивация земель, их возвращение в хозяйственный оборот                  Рост выпуска и потребления продукции и генерации энергии из ВР; ВВП в регионе; снижение цен на товары и энергоносители, обеспечение рабочими местами                  Предупреждение техногенных ЧС с опасными экологическими последствиями</p>

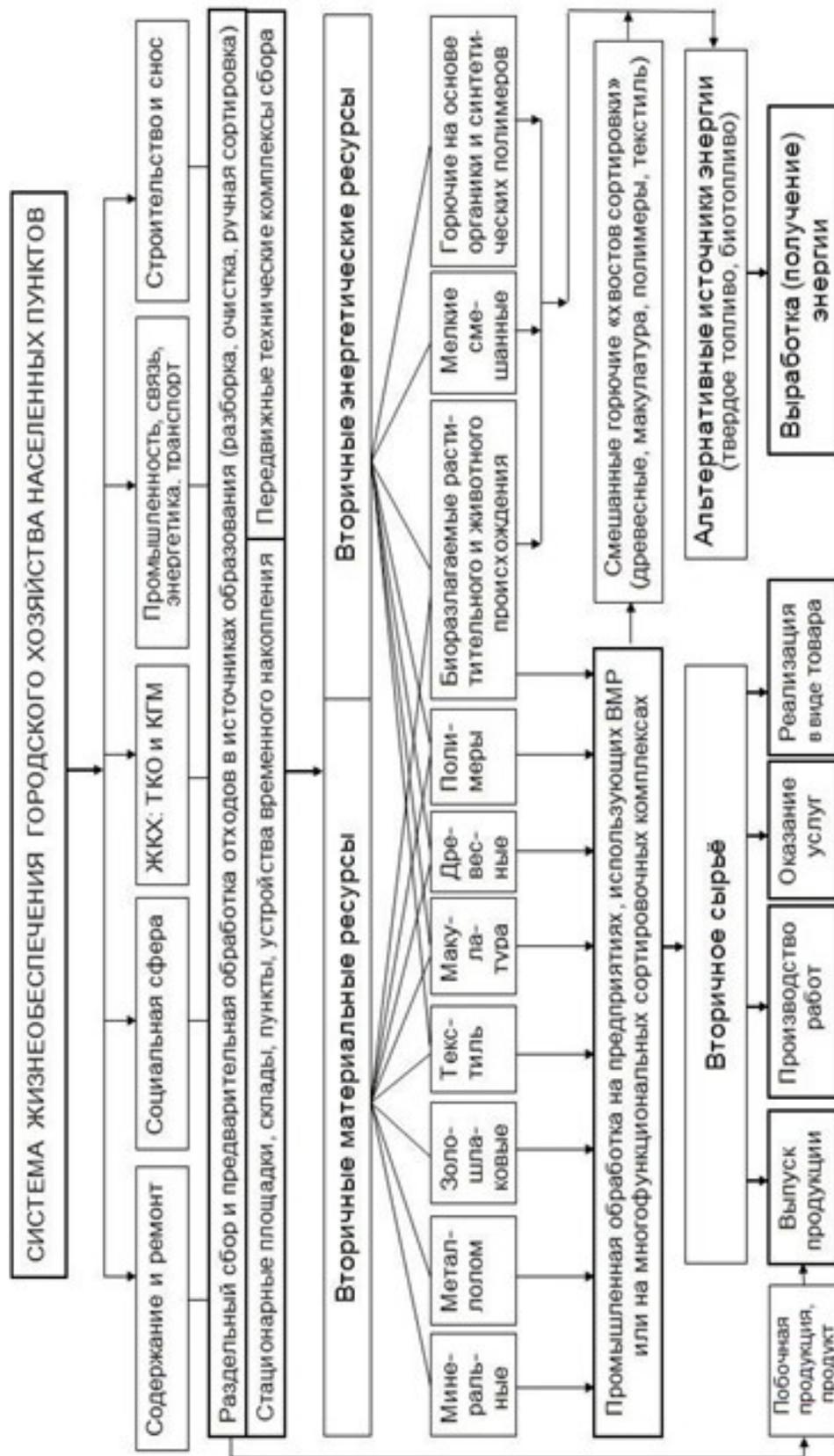


Рис. 4. Идеализированная концептуальная модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами жизнеобеспечения технософферных территорий  
 Fig. 4. Idealized conceptual model of a resource-saving system for environmentally safe management of waste from the life support of technospheric territories

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Примененные в работе методы концептуального моделирования и системного анализа предоставили возможность разработать идеализированную концептуальную модель ресурсосберегающей системы экологически безопасного обращения с отходами жизнеобеспечения техносферных территорий в рамках поставленных целей и задач исследования и в интересах участников РСЧС.

Одним из основных направлений реализации концептуальной модели в формате со-

вершенствования механизмов прогнозирования техногенных ЧС, ее апробации предлагается формирование системы методов раннего предупреждения ЧС в период ее зарождения в источнике опасности. Сформированная концептуальная модель усовершенствованной системы прогнозирования ЧС нашла свое воплощение в разработанных, в рамках выполнения настоящей научно-исследовательской работы, Методических рекомендациях по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Sochi, 06–12 September 2020). IOP Publishing Ltd, 2020. Vol. 962. Iss. 4. P. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ.
3. Арефьева Е.В., Олтян И.Ю. Роль международного сотрудничества в области совершенствования прогнозирования рисков бедствий с учетом глобальных климатических изменений // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. № 2 (33). С. 7–9. EDN: ZBGXSB.
4. Лapidус А.А., Макаров А.Н. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 2. С. 232–241. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.2.232-241>. EDN: ARPPKP.
5. Фалеев М.И., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В. Методология и технология дистанционной оценки риска // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 4. С. 6–19. EDN: YCNCAP.
6. Акимов В.А., Олтян И.Ю., Иванова Е.О. Методика ранжирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера по степени их катастрофичности // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 1 (67). С. 4–7. <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.1.4>. EDN: IOGGXC.
7. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М. Оценка ущерба от чрезвычайной ситуации в условиях неполных данных // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 32–36. <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73>. EDN: ZUSCWO.
8. Стась Г.В., Чистяков Я.В., Калаева С.З., Муратов К.М. К вопросу защиты окружающей среды от мелкодисперсной пыли горных предприятий // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2019. Вып. 1. С. 92–109. EDN: OSZESO.
9. Petropavlovskii K., Ratkevich E., Novichenkova T., Petropavlovskaya V. The use of technogenic carbon in gypsum compositions for green building // Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions: XII International Scientific and Practical Forum (ESCP-2023). E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 403. P. 03013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340303013>.
10. Petropavlovskaya V.B., Artamonova S.V., Shchipanskaya E.O., Ratkevich E.A., Petropavlovskii K.S. Environmental management in ash and slag waste management in Russia // Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science: International scientific and practical conference (AEES-2021). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (London, Virtual, 27–29 October 2021). London: IOP Publishing Ltd, 2022. Т. 1010. Iss. 1. P. 012135. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012135>. EDN: WEUBVX .
11. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2020. № 1. С. 6–11. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.
12. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment / M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). In book: Life Cycle Assessment. Theory and Practice. Cham: Springer, 2018. P. 695–722. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28).
13. Теличенко В.И., Ройтман В.М., Слесарев М.Ю., Щербина Е.В. Основы комплексной безопасности строительства: монография. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2016. 168 с. EDN: SAQAFF.

14. Графкина М.В., Потапов А.Д. Оценка экологической безопасности строительных систем как природно-техногенных комплексов (теоретические основы) // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 23–28. EDN: MVHAJP.
15. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Глотова Е.П. Экологическая безопасность строительства в России: реальность и перспективы // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году: сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2022. Т. 2. С. 441-449. EDN: CBIYVG.
16. Владимиров С.Н. Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии. 2016. № 2 (19). С. 101–105. EDN: WCNXNV.
17. Лунев Г.Г. Развитие методологии комплексного использования вторичных строительных ресурсов. М.: ООО «Научтехиздат», 2019. 284 с.
18. Олейник С.П., Чулков В.О. Управление обращением с отходами строительства и сноса // Отходы и ресурсы. 2016. Т. 3. № 1. С. 5. <https://doi.org/10.15862/03RRO116>. EDN: XBGYPZ.
19. Волынкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017;2:43-49. EDN: YTOUCP.
20. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. P. 1306–1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>.
21. Ehresman T.G., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy // International environmental agreements. 2015. Vol. 15. P. 13–27. <https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>.
22. Chernykhivska A. Modern perspectives of development of «green» economy // Economic processes management. 2015. Iss. 1. P. 108–115.
23. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in europe: policy lessons from the eu and the member states // Ecological Economics. 2019. Vol. 155. P. 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.
24. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions // Resources, Conservation & Recycling. 2017. Iss. 127. P. 9. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3037579>.
25. Hart J., Adams K., Giesekam J., Densley D.T., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // Procedia CIRP. 2019. Vol. 80. P. 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>.
26. Цховребов Э.С. Формирование региональных стратегий управления обращением с вторичными ресурсами // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 4 (127). С. 450–463. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.4.450-463>. EDN: EPNQHR.
27. Цховребов Э.С. Эколого-экономические аспекты планирования размещения и проектирования промышленных объектов по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 11 (122). С. 1326–1340. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1326-1340>. EDN: YQNVNJ.
28. Кожуховский И.С., Величко Е.Г., Цыльковский Ю.К., Цховребов Э.С. Организационно-экономические и правовые аспекты создания и развития производственно-технических комплексов по переработке золошлаковых отходов в строительную и иную продукцию // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 6 (129). С. 756–773. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.6.756-773>. EDN: UGGWQH.
29. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // Materials science forum. 2019. Vol. 945. P. 988–994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>. EDN: DROTAP.
30. Цховребов Э.С. Новый подход к оценке параметров устойчивого развития в формате предотвращенной экологической опасности // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 3. С. 50–68. EDN: EHNHBO.

**REFERENCES**

1. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index. *International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020)*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 06–12 September 2020, Sochi. IOP Publishing Ltd; 2020. Vol. 962 (4). p. 042053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042053>. EDN: XJGGYQ.
3. Arefyeva E.V., Oltyan I.Yu. The role of international cooperation for better disaster risk forecast in the context of ongoing climate change. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity*. 2017;2:7-9. (In Russ). EDN: ZBGXSB.

4. Lapidus A.A., Makarov A.N. Application of a risk-based approach when performing the functions of construction control of a technical customer. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2022;17(2):232-241. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.2.232-241>. EDN: ARPPKP.
5. Faleev M.I., Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Bolgov M.V. Methodology and technology of remote risk assessment. *Problemy analiza riska = Issues of risk analysis*. 2018;15(4):6-19. (In Russ.). EDN: YCNCAP.
6. Akimov V.A., Oltyan I.Yu., Ivanova E.O. Natural, anthropogenic and biological and social emergency situations ranking technique by catastrophic degree. *Tehnologii grazhdanskoi bezopasnosti = Civil security technology*. 2021;18(1):4-7. (In Russ.). <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.1.4> EDN: IOGGXC.
7. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Moshkov V.B., Oltyan I.Yu., Niyazova Yu.M. Emergency Situation Damage Assessment in the Conditions of Incomplete Data. *Tehnologii grazhdanskoi bezopasnosti = Civil security technology*. 2022;19(3):32-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73>. EDN: ZUSCWO.
8. Stas' G.V., Chistyakov Ya.V., Kalaeva S.Z., Muratova K.M. On the question of environmental protection from fine dust of mining enterprises. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2019;1:92-109. (In Russ.). EDN: OSZESO.
9. Petropavlovskii K., Ratkevich E., Novichenkova T., Petropavlovskaya V. The use of technogenic carbon in gypsum compositions for green building. In: *Environmentally Sustainable Cities and Settlements: Problems and Solutions: XII International Scientific and Practical Forum (ESCP-2023)*. *E3S Web of Conferences*. 2023;403:03013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340303013>.
10. Petropavlovskaya V.B., Artamonova S.V., Shchipanskaya E.O., Ratkevich E.A., Petropavlovskii K.S. Environmental management in ash and slag waste management in Russia. In: *Ensuring sustainable development: agriculture, ecology and earth science: International scientific and practical conference (AEES-2021)*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 27-29 October 2021, London (Virtual). London: IOP Publishing Ltd; 2022. Vol. 1010 (1). p. 012135. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012135>. EDN: WEUBVX.
11. Suzdaleva A.L. Ecological globalistics and sustainable development at the stage of technogenic transformation of the biosphere. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. 2020;1:6-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869780920010196>. EDN: HKJMPL.
12. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of buildings and the built environment. In: M. Hauschild, R. Rosenbaum, S. Olsen (Eds.). *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. Cham: Springer; 2018. p. 695-722. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_28).
13. Telichenko V.I., Roitman V.M., Slesarev M.Yu., Shcherbina E.V. Fundamentals of integrated construction safety. Moscow: PH of the Association of construction universities; 2016. 168 p. (In Russ.). EDN: SAQAFF.
14. Grafkina M.V., Potapov A.D. The analysis of ecologic safety of building systems is a nature-technical complex (theoretical basis). *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2008;1:23-28. (In Russ.). EDN: MVHAJP.
15. Telichenko V.I., Benuzh A.A., Glotova E.P. Environmental safety of construction in Russia: reality and prospects. Fundamental, exploratory and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2021. Collection of scientific papers of the RAASN. Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Moscow, 2022. pp. 441-449. (In Russ.).
16. Vladimirov S.N. Problems of waste processing in the construction industry. *Sistemnye tekhnologii*. 2016;2:101-105. EDN: WCNXNV.
17. Lunev G.G. Development of methodology for the integrated use of secondary construction resources. Moscow: LLC "Nauchtekhizdat"; 2019. 284 p.
18. Oleynik P.P., Chulkov V.O. Waste management, construction and demolition. *Otkhody i resursy = Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2016;3(1):5. <https://doi.org/10.15862/03RRO116>. EDN: XBGYPZ.
19. Volynkina E.P. Analysis of the state and problems of processing technogenic waste in Russia. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta = Bulletin of the Siberian state industrial university*. 2017;2:43-49. EDN: YTOUCP.
20. Elgizawy S., El-Haggar S., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*. 2016;145:1306-1313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.168>.
21. Ehresman T.G., Okereke C. Environmental justice and conceptions of the green economy. *International environmental agreements*. 2015;15:13-27. <https://doi.org/10.1007/s10784-014-9265-2>.
22. Chernykhivska A. Modern perspectives of development of «green» economy. *Economic processes management*. 2015;1:108-115.

23. Domenech T., Bahn-Walkowiak B. Transition towards a resource efficient circular economy in Europe: policy lessons from the EU and the member states. *Ecological Economics*. 2019;155:7-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>.
24. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*. 2017;127:9. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3037579>.
25. Hart J., Adams K., Gieseckam J., Densley D.T., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019;80:619-624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>.
26. Tskhovrebov E.S. Formation of regional management strategies of secondary resource handling. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2019;14(4):450-463. (In Russ). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.4.450-463>. EDN: EPNQHR.
27. Tshovrebov E.S. Ecological and economic aspects of planning the placement and design of industrial facilities for the processing, disposal, disposal of waste. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2018;13(11):1326-1340. (In Russ). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1326-1340>. EDN: YQNVNJ.
28. Kozhukhovskiy I.S., Velichko E.G., Tselykovskiy Yu.K., Tshovrebov E.S. Organizational, economic and legal aspects of the creation and development of industrial and technical complexes for the processing of ash and slag waste into construction and other products. *Vestnik MGSU = Vestnik MGSU*. 2019;14(6):756-773. (In Russ). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.6.756-773>. EDN: UGGWQH.
29. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex. *Materials science forum*. 2019;945:988-994. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.988>. EDN: DROTAP.
30. Tskhovrebov E.S. A new approach to assessing the parameters of sustainable development in the format of the magnitude of the prevented environmental hazard. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2023;3:50-68. (In Russ). EDN: EHNHBO.

**Информация об авторах****Information about the authors****Цховребов Эдуард Станиславович,**

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

**Eduard S. Tshovrebov,**

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

**Калаева Сахиба Зияддиновна,**

д.т.н., заведующая кафедрой  
охраны труда и природы,  
Ярославский государственный технический  
университет,  
150023, г. Ярославль, Московский проспект,  
88, Россия,  
e-mail: kalaevasz@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9889-8669>

**Sahiba Z. Kalaeva,**

Dr Sci. (Tech.), Head of the Department  
of Labor and Nature Protection,  
Yaroslavl State  
Technical University,  
88 Moskovsky Prospekt, Yaroslavl 150023,  
Russia,  
e-mail: kalaevasz@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9889-8669>

**Петропавловская Виктория Борисовна,**

д.т.н., профессор кафедры  
производства строительных изделий  
и конструкций,  
Тверской государственный технический  
университет,  
170026, г. Тверь, Набережная Аф. Никитина,  
22, Россия,  
e-mail: victoria\_petrop@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5412-5576>  
Author ID: 407660

**Victoria B. Petropavlovskaya,**

Dr Sci. (Tech), Professor of the Department  
of Production of Building Products  
and Structures,  
Tver State Technical  
University,  
22 Embankment Af. Nikitina, Tver 170026,  
Russia,  
e-mail: victoria\_petrop@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5412-5576>  
Author ID: 407660

**Ниязгулов Филюз Хайдарович**,  
старший преподаватель кафедры геодезии,  
геоинформатики и навигации,  
Российский университет транспорта,  
127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9,  
Россия,  
e-mail: filyuz1989@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6901-3318>  
Author ID: 993100

**Filyuz Kh. Niyazgulov**,  
Senior Lecturer of the Department  
of Geodesy, Geoinformatics and Navigation,  
Russian University of Transport,  
9 page 9 Obraztsova St., Moscow127994,  
Russia,  
e-mail: filyuz1989@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6901-3318>  
Author ID: 993100

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interests**

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

#### **Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 30.08.2023.  
Одобрена после рецензирования 20.09.2023.  
Принята к публикации 22.09.2023.

#### **Information about the article**

The article was submitted 30.08.2023.  
Approved after reviewing 20.09.2023.  
Accepted for publication 22.09.2023.