ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2026;(11-1):113-123
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 504.064.45 DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_113

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА НА ОБЪЕКТАХ ПОДЗЕМНОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

А.М. Ковалева

НИТУ МИСИС, Москва, Россия, e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru

Аннотация: Увеличение объемов строительства и реализация крупных инфраструктурных объектов привело к проблеме необходимости утилизации отходов строительства и сноса. Подземное строительство повышает объемы отходов строительства и сноса на стадиях строительства объектов, реконструкции и ликвидации поверхностного комплекса, включающего здания, сооружения и инженерную инфраструктуру, необходимые для функционирования подземного объекта. Основная часть отходов направляется на полигоны, вместо того чтобы перерабатываться во вторичное сырье. Сегодня интерес к технологиям переработки отходов строительства и сноса и оценке их экономической эффективности возрос. Развитие экономики замкнутого цикла, экологические требования и необходимость экономии природных ресурсов требуют более экологичных подходов. Рассмотрены современные исследования в области переработки строительных отходов, государственного регулирования и экономической необходимости решения вопроса рециклинга, а также проводится обзор отечественного и зарубежного опыта. Установлено, что повышение уровня переработки отходов строительства и сноса возможно только при комплексном сочетании новых технологий, экономических стимуляций и государственного регулирования. На основе проведенного анализа предложены направления развития отрасли и совершенствования методов оценки проектов переработки.

Ключевые слова: отходы строительства и сноса, вторичные строительные ресурсы, рециклинг, экономика замкнутого цикла, экономическая эффективность, ресурсосбережение, переработка, селективный демонтаж.

Для цитирования: *Ковалева А. М.* Современные подходы к утилизации отходов строительства и сноса на объектах подземного и гражданского строительства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 11-1. – С. 113–123. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_113.

Modern approaches to the disposal of construction and demolition waste in underground and civil con-struction projects

A.M. Kovaleva

NUST MISIS, Moscow, Russia, e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru

Abstract: The increase in construction volumes and the implementation of large infrastructure projects have led to the problem of the need to dispose of construction and demolition waste. Underground construction increases the volume of construction and demolition waste at the stages of facility construction, reconstruction, and the elimination of the surface complex,

© А.М. Ковалева. 2026.

which includes buildings, structures, and engineering infrastructure necessary for the operation of the underground facility. The bulk of the waste is sent to landfills instead of being processed into secondary raw materials. Today, interest in construction and demolition waste processing technologies and the assessment of their economic efficiency has grown. The development of a circular economy, environmental requirements, and the need to conserve natural resources require more environmentally friendly approaches. The article examines current research in the field of construction waste recycling, government regulation, and the economic necessity of addressing the issue of recycling and also provides an overview of domestic and foreign experience. It has been established that increasing the level of construction waste recycling is possible only through a comprehensive combination of new technologies, economic incentives, and government regulation. Based on the analysis, directions for the development of the industry, and the improvement of methods for evaluating recycling projects are proposed.

Key words: construction and demolition waste, secondary construction resources, recycling, circular economy, economic efficiency, resource conservation.

For citation: Kovaleva A. M. Modern approaches to the disposal of construction and demolition waste in underground and civil con-struction projects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2026; (11-1):113-123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2026_111_0_113.

Введение

Строительная индустрия активно потребляет природные ресурсы и является одним из крупных источников промышленных отходов. С увеличением объемов строительства, будь то жилые, промышленные или инфраструктурные объекты, растет и количество строительного мусора. На объектах подземного строительства мусор прежде всего аккумулируется на территориях горностроительных площадок. Этот мусор представлен бетоном, железобетоном, кирпичом, асфальтобетоном, металлом, древесиной, стеклом, полимерами и другими материалами. Хотя значительная часть этих отходов может быть переработана и использована повторно, в России они чаще всего оказываются на полигонах.

В мире отходы от строительства и сноса рассматриваются как ценные вторичные ресурсы, способные заменить природное сырье при производстве стройматериалов и строительных работах [1 — 3]. Такой подход опирается на принципы экономики замкнутого цикла, где материалы сохраняют свою ценность через повторное использование и переработку. Также это позволяет сократить добычу полезных ископаемых, снизить нагрузку на полигоны, уменьшить выбросы парниковых газов и увеличить эффективность использования ресурсов.

Реновации жилья, урбанизация, развитие сферы строительства с объемной подземной частью делают тему переработки отходов строительства и сноса актуальной по всему миру. Исследования по этой тематике охватывают широкий круг вопросов, включая разработку новых или улучшение имеющихся технологий, создание новых материалов при использовании вторичного сырья, разработку и совершенствование нормативно-правовой документации и оценку экономической эффективности.

Отходы при подземных работах включают материалы от самого строительства, реконструкции, демонтажа в том числе наземного строительного комплекса. К нему относятся здания и сооружения, площадки складирования и зоны над-

земных работ, в том числе обслуживающих подземные механизмы.

Современное состояние образования отходов строительства и сноса

Общая характеристика отходов строительства и сноса

Деятельность строительной области потребляет высокое количество ресурсов и производит большое количество отходов. В основном отходы строительства и сноса (ОСС) представлены минеральными материалами: бетон, железобетон, кирпич, керамика, асфальтобетон и природный камень. Также значительную часть составляют металлы, древесина, стекло, полимеры, гипсокартон и изоляционные материалы. Состав отходов зависит от типа строительства, используемых технологий, возраста зданий и характера работ.

Многие материалы сохраняют свою ценность и после использования, их переработка позволяет применять их в будущем, например, для дорожных оснований, строительных смесей, бетонных изделий, при благоустройстве и зем-

Основные виды отходов строительства и сноса и направления их повторного использования
Main types of construction and demolition waste and their reuse options

Виды отходов	Направления повторного использования
Древесные материалы и конструкции	Древесная стружка и изделия на их основе; древесные пластики, в том числе сложнопрофильные, влагостойкие и т.д.; арболит; теплоизоляционные, звукоизоляционные плиты
Шламовые отходы камнеобработки	Шпатлевка; штукатурка; искусственный камень; декоративные фасадные покрытия
Бой бортовых камней, брусчатки, булыжных камней и прочие отходы на основе естественного камня, отходы железобетона, отходы тяжелого бетона	Щебень
Отходы легкого бетона, отходы ячеистого бетона, сухие отходы штукатурных смесей	Порошковые наполнители для производства стековых блоков и смесей для монолитного литья
Отходы материалов на гипсовой основе (панели и плиты для перегородок, гипсо-картонные листы, вентблоки), отходы силикатных материалов (кирпич, ячеистые изделия), отходы материалов на основе извести (известково-песчаные, известково-шлаковые и известково-зольные материалы)	Порошковые наполнители для производства стеновых блоков и смесей для монолитного литья
Листы кровельные, панели облицовочные, трубы, венткороба, электротехнические доски	Наполнители для производства огнестойких стеновых блоков
Стеклобой, отходы пеностекла, отходы минваты, стекловаты, отходы перлитовых, вермикулитовых изделий	Порошковое сырье для безавтоклавного производства пенобетонных блоков или применения в монолитном строительстве
Кирпичный бой, бой сантехкерамики, бой фаянсовой и керамической плитки	Пресс-порошки, смеси для шликерного литья, добавки для огнестойких штукатурок, сырье для производства пигментов

ляных работах, поэтому современный подход смещает фокус с захоронения на рециклинг. Основные виды строительных отходов показаны в таблице.

В мировой практике отходы строительства и сноса считаются одним из основных элементов циклической экономики и их повторное использование снижает потребность в добыче минералов, уменьшает энергозатраты на производство, сокращает выбросы парниковых газов и снижает нагрузку на полигоны. В Европейском союзе переработка таких отходов является приоритетом экологической политики, в то время как в России этот рынок все еще развивается [4, 5].

Основные технологии переработки и утилизации мусора с территории наземных стройплощадок идентичны и для стройплощадок объектов подземного строительства, поэтому представлен общий анализ.

Факторы, влияющие на образование отходов строительства и сноса

Объем образования отходов строительства и сноса определяется множеством факторов: от технологий и организации до экономики. Важную роль играют масштабы стройки, возраст зданий, активность в капремонте и реновации, уровень развития стройиндустрии, используемые методы демонтажа и качество организации строительных процессов [6]. Динамика образования отходов строительства и ремонта в Российской Федерации в 2019 — 2025 гг. показана на рис. 1.

На количество отходов также влияют особенности проектирования. Применение модульных конструкций, сборных элементов, BIM-технологий и проектирование с учетом будущего демонтажа помогает заметно уменьшить объем отходов на этапе строительства и облегчает их сортировку и переработку.

Организация раздельного сбора отходов прямо на стройплощадке — еще один важный аспект. Практика показывает: предварительная сортировка улучшает качество вторичных ресурсов и снижает затраты на переработку [7]. Без раздельного сбора расходы на сортировку растут, увеличивается количество загрязненных материалов, что снижает экономическую эффективность переработки.

Экономические условия сильно влияют на развитие рынка вторичных строительных материалов. Дороговизна захоронения отходов, рост цен на природные материалы и транспортные расходы делают переработку ОСС более выгодной как экономически, так и экологически. При этом для развития рынка нужно формировать устойчивый спрос на вторич-

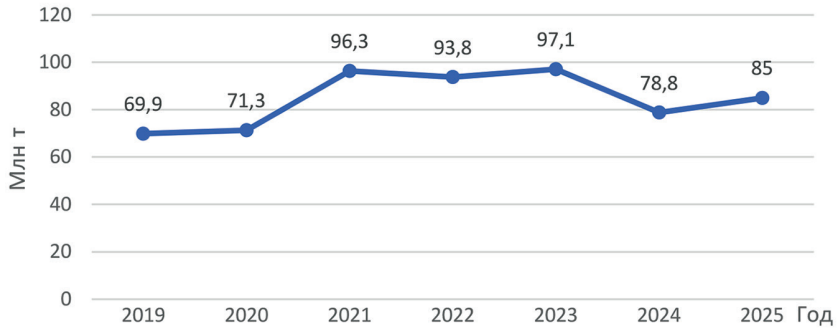


Рис. 1. Динамика образования отходов строительства и ремонта в Российской Федерации в 2019 — 2025 гг.
Fig. 1. Dynamics of waste generation from construction and renovation in the Russian Federation in 2019 — 2025

ные материалы, улучшать нормативную базу и внедрять механизмы государственной поддержки.

Современные технологии переработки отходов строительства и сноса

Основные принципы переработки отходов строительства и сноса

Сегодня переработка строительных отходов направлена на максимальное использование вторичных ресурсов и уменьшение мусора, отправляемого на полигоны. Раньше акцент делался на безопасное размещение отходов, а теперь на сохранение ценности материалов в течение их жизненного цикла [8].

Процесс переработки включает несколько этапов: разборка конструкций, сортировка отходов, транспортировка, механическая переработка, разделение по типам, контроль качества и повторное использование. Каждый этап важен и требует высокого контроля, потому что неправильная сортировка или загрязнение снижают пригодность материалов для переработки.

Набирает популярность селективный демонтаж, в ходе которого разбор здания производят поэтапно и разделение материалов происходит на строительной площадке. Такой подход увеличивает качество ОСС и снижает затраты на сортировку, но данный способ требует более квалифицированных специалистов и увеличивает время демонтажа [9].

Механическая переработка минеральных строительных отходов

Минеральные отходы перерабатываются при помощи механического дробления и разделения на фракции. Эта методика подходит для обработки бетонных, железобетонных, кирпичных и асфальтобетонных отходов, превращая их во вторичный щебень, песок и другие наполнители, которые можно снова использовать в строительстве. Затраты энергии на добычу превосходят энергопотребление на механическую переработку.

Вторичный щебень применяется в строительстве дорог, создании фундаментов, производстве бетонов с невысокой прочностью, изготовлении тротуарной плитки и благоустройстве. Экономическая выгода от этой технологии зависит от производительности оборудования, расходов на транспортировку отходов и спроса на вторичные материалы [10, 11].

Переработка бетонных и железобетонных конструкций

Бетонные и железобетонные конструкции после демонтажа отправляют на дробление. В процессе металлическая арматура отделяется от бетона. Получившуюся массу сортируют по фракциям и используют в качестве вторичного щебня.

Как показывают исследования, такой щебень из бетона подходит для дорожных работ, изготовления разных марок бетона и для укрепления откосов. На качество материала влияет то, из чего был сделан исходный бетон, насколько он загрязнен и насколько эффективно прошла переработка. Чтобы повысить прочность вторичного продукта, применяют механические, термические и химические способы обработки. Одно из главных направлений научных работ в этой сфере — улучшение методов очистки вторичного заполнителя от остатков цементного камня [12].

Переработка кирпичного боя и керамических материалов

Кирпичный бой часто образуется при демонтаже кирпичных сооружений. Этот материал прочный и устойчивый к внешним воздействиям, поэтому его используют как заполнитель в дорожном строительстве, при закладке фундаментов, в легких бетонах и в некоторых видах строительной керамики.

Если сравнивать с бетонными отходами, то переработка кирпичного боя требует меньше энергии, но здесь многое зависит от примесей и остатков раствора, поэтому необходимы тщательная сортировка и очистка.

Переработка металлических отходов

Металлические отходы обладают оборачиваемостью, в отличие от других элементов ОСС. После разборки его сортируют, очищают, прессуют и отправляют на металлургические заводы для переплавки либо используют повторно сразу. Применение вторичного металла экономит энергию по сравнению с добычей руды и производством из нее. Современные сортировочные комплексы оснащены магнитными и вихретоковыми сепараторами. Они эффективно разделяют черные и цветные металлы, что улучшает качество вторичного сырья и делает переработку экономически выгоднее.

Переработка древесных отходов

Древесные отходы образуются в ходе строительства, ремонта и демонтажа деревянных конструкций, а также при использовании упаковки и временных сооружений. Чистая древесина служит сырьем для производства щепы, древесно-стружечных плит и композитов. Загрязненные материалы (содержащие краску, пропитку и пр.) подвергаются дополнительной обработке либо утилизируются в качестве топлива. Развитие технологий переработки стимулирует рынок биотоплива и снижает потребление первичной древесины.

Цифровизация процессов переработки

BIM, геоинформационные системы, автоматизированный учет отходов и цифровые платформы — эти инструменты все чаще применяются в управлении отходами. Они дают возможность прогнозировать объемы отходов уже на стадии проектирования. Со временем это может привести к созданию единой информационной системы для управления вторичными строительными ресурсами. Такая система объединила бы строительные компании, переработчиков, государственные органы и потребителей вторичной продукции [13—15].

Экономическая эффективность переработки отходов строительства и сноса

Теоретические основы оценки экономической эффективности

Возможность перерабатывать строительные отходы связана с действующими экологическими нормами и экономической выгоды от использования новых технологий. Существующая цель по снижению экологического вреда превратилась в бизнес со стабильным доходом.

Для получения экономической выгоды необходимо поддерживать баланс между затратами на создание и развитие перерабатывающего комплекса. Доход формируется с продажи вторичного сырья, важно оптимизировать расходы на транспортировку, сокращение экологических сборов и введение конкурентных преимуществ для строительных компаний [16, 17]. Для оценки проекта переработки нужно учитывать ряд факторов. Во-первых, объем и количество отходов, во-вторых, региональные условия рынка вторичных материалов, налаженная логистика и наличие спроса, в-третьих, влияние экологического эффекта от переработки.

Государственное регулирование в России и за рубежом

Методы регулирования

Согласно мировой практике, переработка отходов строительства и сноса

развивается интенсивнее при дополнении экономических стимулов законодательным регулированием и государственным надзором [18].

Регулирование в этой сфере преследует несколько целей — меньше отходов, больше переработки, ниже нагрузка на природу. Заодно оно открывает дорогу вторичным строительным материалам. Инструменты здесь делятся на три группы: административные, экономические и информационные [19].

К административным относятся обязательные требования к обращению с отходами, лицензирование переработки, экологическая экспертиза проектов, запреты на захоронение материалов, которые можно переработать, и контроль за соблюдением норм.

Экономические методы — это налоговые льготы, субсидии для инвестиционных проектов, льготные кредиты, поддержка научных исследований и плата за размещение отходов, подталкивающая к их переработке.

Информационные меры включают государственный учет отходов, цифровые платформы для обмена вторичными материалами, технические стандарты и образовательные программы для участников строительной отрасли.

Опыт зарубежных стран

Германия входит в число лидеров по переработке строительных отходов. Сортировка по видам материалов здесь обязательна. Большинство объектов демонтируют поэтапно — так удается извлечь почти все материалы и отправить их на переработку. Вторичный щебень активно идет на дороги, железнодорожные пути, инженерные сооружения и благоустройство. Поэтапный контроль качества продукции обеспечивает ее соответствие установленным стандартам. Государственное финансирование исследований направлено на совершенствование технологий переработки и расширение применения вторичных материалов.

В Нидерландах, Дании, Швеции и Финляндии применяют цифровые технологии для проектного прогноза минимизации объема отходов, а экологическая стандартизация охватывает даже проектную стадию обращения со строительными отходами.

В Японии дефицит земель под полигоны диктует необходимость повторного применения материалов и обязательной сортировки отходов. Так, раздробленный бетон используют в дорожном строительстве, древесные отходы участвуют в производстве композитов и биотоплива, а металл переплавляется.

Российская система обращения со строительными отходами

В России принят ряд нормативных документов, регулирующих данную сферу, однако переработка отходов уступает уровню ведущих стран [20] из-за слаборазвитой инфраструктуры переработки, ограниченного рынка вторичных строительных материалов, отсутствия единых подходов к оценке эффективности. Однако рост объемов строительства и реновации способствует интенсификации использования мобильных установок дробления и сортировки прямо на стройплощадках [1].

Для дальнейшего развития важно улучшать нормативную базу, разрабатывать национальные стандарты качества для вторичных материалов и создавать экономические стимулы для использования переработанной продукции в государственных и муниципальных проектах.

Сравнение образования и рециклинга отходов строительства и ремонта в Российской Федерации и Европейском союзе в 2019—2025 гг. показано на рис. 2.

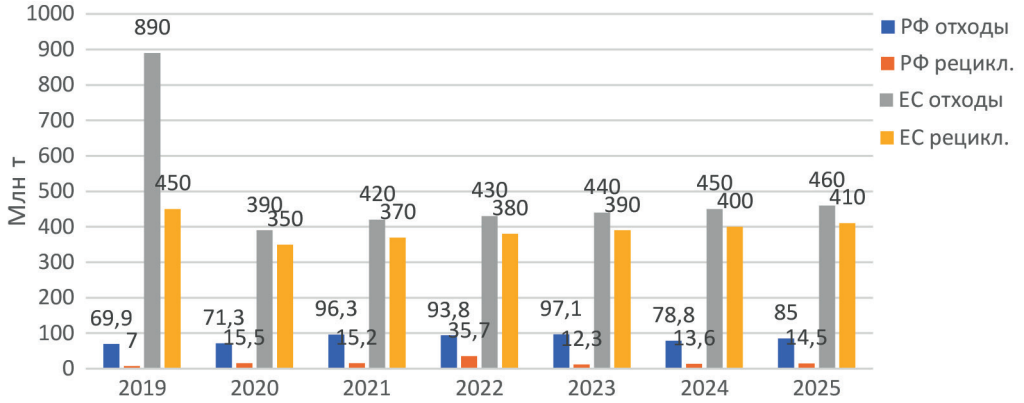


Рис. 2. Сравнение образования и рециклинга отходов строительства и ремонта в Российской Федерации и Европейском союзе в 2019—2025 гг.

Fig. 2. Comparison of waste generation and recycling in construction and renovation in the Russian Federation and the European Union in 2019—2025

Проблемы, перспективы развития отрасли и направления дальнейших исследований

Основные проблемы развития системы переработки отходов строительства и сноса

Хотя технологии переработки строительных отходов шагнули далеко вперед, отрасль все еще сталкивается с рядом проблем, мешающих широкому внедрению рециклинга. Исследования показывают, что трудности связаны с нормативными, экономическими, технологическими и организационными аспектами.

Одна из главных проблем — слабая инфраструктура переработки. Во многих регионах отсутствуют предприятия, способные полностью перерабатывать строительные отходы. Это вынуждает строительные компании перевозить отходы на большие расстояния или отправлять их на свалки, что увеличивает затраты и уменьшает экономическую выгоду от переработки.

Переход на цифровизацию

Развитие переработки строительных отходов связано с цифровизацией строительства и эксплуатации зданий. Информационные системы управляют материальными потоками и возвращают вторичные ресурсы в оборот. Еще до начала работ цифровые модели позволяют оценить объем образования отходов, потенциал повторного использования материалов и организацию демонтажа. Автоматизация сортировки расширяет возможности переработки: сенсорно-механические комплексы разделяют отходы по фракциям, что снижает влияние человеческого фактора. Цифровые платформы управления потоками вторичных материалов связывают строительные компании, переработчиков, перевозчиков и покупателей вторичной продукции, предоставляя сведения о доступных материалах, объемах отходов и рыночных запросах. Такое единое информационное пространство повышает эффективность использования вторичных ресурсов [8].

Реализация замкнутого цикла в строительной отрасли

Замкнутый цикл в строительстве позволяет долго удерживать ресурсы в обороте. В подземном строительстве для этого проектируют материалы с учетом оборачиваемости, а элементы — с учетом разборности: конструкции используют повторно, материалы перерабатывают

после окончания срока службы, вторичное сырье направляют на новые объекты. В итоге снижается потребление природных ресурсов, сокращаются отходы и складываются устойчивые производственные цепочки на основе рециклинга.

Заключение

Анализ методов оценки экономической эффективности переработки строительных отходов отражает переход отрасли к замкнутому циклу. Ресурсный потенциал таких отходов признается значительным в отечественных и зарубежных исследованиях. Наиболее распространены и экономически обоснованы механическое дробление и сортировка минеральных отходов. Перспективны селективный демонтаж, повышение качества очистки вторичных материалов, автоматизированная сортировка и цифровое управление потоками. Опыт Германии, Нидерландов и Японии подтверждает: высокий уровень переработки достигается при комплексной государственной поддержке — запретах на захоронение перерабатываемых материалов, экономических стимулах, экологических стандартах и поддержке инноваций.

Для России приоритетны региональная инфраструктура переработки, единые стандарты качества вторичных материалов, обновление нормативной базы, цифровой учет отходов и мотивация участников строительного рынка к рециклингу. В подземном строительстве необходимо увеличивать долю переработки, повышать оборачиваемость материалов и внедрять цифровой учет потоков; повторное использование и селективный демонтаж наземных комплексов снижают нагрузку на полигоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голуб О. В.*, *Шушпанова Д. В.*, *Михайлиди Д. Х.*, *Горохова И. А.* Учет отходов производства и потребления в Российской Федерации // Отходы и ресурсы. — 2025. — Т. 12. — № 2. — С. 1—11. DOI: 10.15862/15ECKOR225.

2. *Sudarsan J. S.*, *Vaishampayan S., Srihari V., Gavali H.* Optimizing construction waste management: a study on recycling practices in residential building projects // Clean Technologies and Environmental Policy. 2026, vol. 28, article 54. DOI: 10.1007/s10098-025-03365-9.

3. *Hosseini S. A.*, *Asghari V., Liu X., Hsu Shu-Chien, Poon Chi-S.* Cross-country life cycle assessment of construction and demolition waste recycling with evaluation of energy use, carbon emissions, and regional trade-offs // Scientific Reports. 2025, vol. 15, article 41377. DOI: 10.1038/s41598-025-25387-5.

4. *Pramanik S., Mazumder D.* Effective utilization of construction and demolition waste through recycling coarse and fine aggregate: a critical review // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2025, vol. 27, pp. 4192—4218. DOI: 10.1007/s10163-025-02394-2.

5. *Крыгина А. М.*, *Крыгина Н. М.* Эффективное развитие системы рециклинга строительных отходов в Российской Федерации: проблемы и перспективы применения в воспроизводстве объектов недвижимости // Жилищные стратегии. — 2020. — Т. 7. — № 2. — С. 227—244. DOI: 10.18334/zhs.7.2.110096.

6. *Ahmad F., Qureshi M. I., Rawat S., Alkharisi M. K., Alturki M.* E-waste in concrete construction: recycling, applications, and impact on mechanical, durability, and thermal properties — A review // Innovative Infrastructure Solutions. 2025, vol. 10, article 246. DOI: 10.1007/s41062-025-02038-2.

7. *Зигангирова Л. И.*, *Ибрагимов Р. А.*, *Мухаметзянов З. Р.* Рециклинг материально-технологических ресурсов: современное состояние и перспективы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2025. — Т. 25. — № 3. — С. 50—59. DOI: 10.14529/build250306.

8. *Shuvo B. P.*, *Deb D., Smrity T. A., Islam J., Islam Sh.* Geotechnical applications of construction and demolition waste and future prospects in Bangladesh — a comprehensive review // Discover Civil Engineering. 2026, vol. 3, article 27. DOI: 10.1007/s44290-026-00418-w.

9. *Nurpeissova M., Begentayev M., Kuldeyev Y., Nurlybayev R.* Experience in using MMC waste for production of construction materials // Development of Technology for Processing of MMC Waste. Springer Briefs in Earth Sciences. Springer, Cham. 2026, pp. 47—71. DOI: 10.1007/978-3-032-12976-5_3.

10. *Зиновьева О. М.*, *Колесникова Л. А.*, *Меркулова А. М.*, *Смирнова Н. А.* К вопросу оценки экологического состояния окружающей среды для достижения устойчивого развития угледобывающих регионов России // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 35—43. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-35-43.

11. *Зиновьева О. М.*, *Кузнецов Д. С.*, *Меркулова А. М.*, *Смирнова Н. А.* Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 113—123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

12. *Зиновьева О. М.*, *Колесникова Л. А.*, *Меркулова А. М.*, *Смирнова Н. А.* Управление экологическими рисками на горнодобывающих предприятиях // Уголь. — 2022. — № 3. — С. 76—80. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.

13. *Петров А. Е.*, *Шамаева Е. Ф.*, *Муртазаев С.-А. Ю.* Сетевая модель межотраслевого баланса рециклинга вторичных ресурсов и вторичного сырья в отраслях промышленности // Устойчивое развитие горных территорий. — 2025. — Т. 17. — № 3. — С. 1594—1605. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-3-1594-1605.

14. *Куликова Е. Ю.*, *Виноградова О. В.* Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 146—154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

15. *Куликова Е. Ю.* Методические основы повышения эколого-технологической надежности городских подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 176—185. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185.

16. *Куликова Е. Ю.*, *Баловцев С. В.*, *Скопинцева О. В.* Управление геотехническими рисками в шахтном и подземном строительстве // Устойчивое развитие горных территорий. — 2025. — Т. 17. — № 1. — С. 556—563. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-556-563.

17. *Vurdova N. G.*, *Ovchinnikova T. I.*, *Tertychnaya S. V.*, *Kulikova A. A.*, *Meshchanova V. D.*, *Vurdov P. Y.*, *Birman Y. A.*, *Krotova M. V.*, *Yakusheva A. A.* An innovative technical solution for the extraction and disposal of hazardous industrial waste for landfill decommissioning // Environments. 2026, vol. 13, no. 5, article 272. DOI: 10.3390/environments13050272.

18. *Айзенштадт А., Морозова М., Фролова М., Данилов В., Дроздюк Т., Тюрин А.* Сапонитсодержащие отходы горно-обогатительных предприятий — сырьевой резерв индустрии строительных материалов // Экология и промышленность России. — 2024. — Т. 28. — № 7. — С. 20—25. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-7-20-25.

19. *Чертес К., Шестаков Н., Пыстин В., Тупицына О.* Обращение с многокомпозитными отходами дорожно-строительного комплекса с использованием биопозитивных технологий // Экология и промышленность России. — 2021. — Т. 25. — № 8. — С. 4—9. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-8-4-9.

20. *Баруздин А., Закревская Л., Николаева К., Бокарев Д.* Рециклинг отходов строительства с целью синтеза новых композиционных материалов // Экология и промышленность России. — 2023. — Т. 27. — № 12. — С. 26—33. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-12-26-33. ГИАБ

REFERENCES

1. Golub O. V., Shushpanova D. V., Mikhailidi D. Kh., Gorokhova I. A. Analysis of industrial and municipal waste accounting statistics in Russia. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2025, vol. 12, no. 2, pp. 1—11. [In Russ]. DOI: 10.15862/15ECKOR225.

2. Sudarsan J. S., Vaishampayan S., Srihari V., Gavali H. Optimizing construction waste management: a study on recycling practices in residential building projects. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2026, vol. 28, article 54. DOI: 10.1007/s10098-025-03365-9.

3. Hosseini S. A., Asghari V., Liu X., Hsu Shu-Chien, Poon Chi-S. Cross-country life cycle assessment of construction and demolition waste recycling with evaluation of energy use, carbon emissions, and regional trade-offs. *Scientific Reports*. 2025, vol. 15, article 41377. DOI: 10.1038/s41598-025-25387-5.

4. Pramanik S., Mazumder D. Effective utilization of construction and demolition waste through recycling coarse and fine aggregate: a critical review. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2025, vol. 27, pp. 4192—4218. DOI: 10.1007/s10163-025-02394-2.

5. Krygina A. M., Krygina N. M. Effective development of the construction waste recycling system in the Russian Federation: problems and prospects of the real estate objects reproduction. *Russian Journal of Housing Research*. 2020, vol. 7, no. 2, pp. 227—244. [In Russ]. DOI: 10.18334/zhs.7.2.110096.

6. Ahmad F., Qureshi M. I., Rawat S., Alkharisi M. K., Alturki M. E-waste in concrete construction: recycling, applications, and impact on mechanical, durability, and thermal properties — A review. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2025, vol. 10, article 246. DOI: 10.1007/s41062-025-02038-2.

7. Zigangirova L. I., Ibragimov R. A., Mukhametzyanov Z. R. Recycling of material and technological resources: current status and prospects. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction Engineering and Architecture*. 2025, vol. 25, no. 3, pp. 50—59. [In Russ]. DOI: 10.14529/build250306.

8. Shuvo B. P., Deb D., Smrity T. A., Islam J., Islam Sh. Geotechnical applications of construction and demolition waste and future prospects in Bangladesh — a comprehensive review. *Discover Civil Engineering*. 2026, vol. 3, article 27. DOI: 10.1007/s44290-026-00418-w.

9. Nurpeissova M., Begentayev M., Kuldeyev Y., Nurlybayev R. *Experience in using MMC waste for production of construction materials. Development of Technology for Processing of MMC Waste. Springer Briefs in Earth Sciences*. Springer, Cham. 2026, pp. 47—71. DOI: 10.1007/978-3-032-12976-5_3.

10. Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M., Smirnova N. A. On the issue of assessing the ecological condition of the environment to achieve sustainable development of coal-mining regions of Russia. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 1, pp. 35—43. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-35-43.

11. Zinovieva O. M., Kuznetsov D. S., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 113—123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

12. Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Environmental risk management at mining enterprises. *Ugol'*. 2022, no. 3, pp. 76—80. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.

13. Petrov A. E., Shamaeva E. F., Murtazaev S-A. Yu. Network model of the interindustry balance of recycling of secondary resources and secondary raw materials in industrial sectors. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2025, vol. 17, no. 3, pp. 1594—1605. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-3-1594-1605.

14. Kulikova E. Yu., Vinogradova O. V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 7, pp. 146—154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

15. Kulikova E. Yu. Methodical principles for improving the ecological and technological reliability of urban underground structures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 176—185. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-176-185.

16. Kulikova E. Yu., Balovtsev S. V., Skopintseva O. V. Geotechnical risk management in mine and underground construction. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2025, vol. 17, no. 1, pp. 556—563. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-556-563.

17. Vurdova N. G., Ovchinnikova T. I., Tertychnaya S. V., Kulikova A. A., Meshchanova V. D., Vurdov P. Y., Birman Y. A., Krotova M. V., Yakusheva A. A. An innovative technical solution for the extraction and disposal of hazardous industrial waste for landfill decommissioning. *Environments*. 2026, vol. 13, no. 5, article 272. DOI: 10.3390/environments13050272.

18. Ayzenshtadt A., Morozova M., Frolova M., Danilov V., Drozdiuk T., Tiurin A. Saponitecontaining waste from mining and processing companies as a raw material reserve for the building materials industry. *Ecology and Industry of Russia*. 2024, vol. 28, no. 7, pp. 20—25. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2024-7-20-25.

19. Chertes K., Shestakov N., Pystin V., Tupitsyna O. Biopositive technologies applied to the management of road-building waste of different origin. *Ecology and Industry of Russia*. 2021, vol. 25, no. 8, pp. 4—9. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-8-4-9.

20. Baruzdin A., Zakrevskaya L., Nikolaeva K., Bokarev D. Recycling construction waste to synthesize new composite materials. *Ecology and Industry of Russia*. 2023, vol. 27, no. 12, pp. 26—33. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-12-26-33.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ковалева Анастасия Михайловна — аспирант, НИТУ МИСИС, e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

A.M. Kovaleva, Graduate Student, NUST MISIS,
119049, Moscow, Russia, e-mail: asya-kovaleva@yandex.ru.

Получена редакцией 14.08.2026; получена после рецензии 25.09.2026; принята к печати 20.10.2026.
Received by the editors 14.08.2026; received after the review 25.09.2026; accepted for printing 20.10.2026.