

УДК 332.13; 504.06

DOI: 10.52531/1682-1696-2025-25-3-76-85

Научная статья

EDN: MSIOMM

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА И РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ «АСТРА»\*

Е.Ф. ШАМАЕВА<sup>1</sup>,  
М.Ш. САЛАМАНОВА<sup>2</sup>,  
А.А. АСОНОВ<sup>3</sup>, М.В. ГРЕЧИТАЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УПРАВЛЕНИЯ, МОСКВА, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

<sup>2</sup> ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Д. МИЛЛИОНЩИКОВА, ГРОЗНЫЙ, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

<sup>3</sup> ООО «РАЗВИТИЕ АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ», г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Современные экологические вызовы и ограниченность ресурсов требуют внедрения инновационных технологий в сфере обращения с отходами. В статье рассмотрены современные технологические решения, включая адаптивную станцию термического разложения «Астра», обеспечивающую переработку углеродсодержащих материалов с получением вторичного сырья и энергии. Рассмотрены технические характеристики установки, её экологические и экономические преимущества, а также перспективы использования в региональных системах управления отходами. Проанализированы ключевые проблемы и возможности внедрения инновационных технологий с учётом современных экологических требований. Показано, что применение представленных технологий способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и созданию новых возможностей для устойчивого развития территорий.

**Ключевые слова:** переработка отходов, современные технологии, адаптивная станция термического разложения «Астра», экологическая безопасность, устойчивое развитие территорий, экономика замкнутого цикла

Original article

## MODERN WASTE PROCESSING TECHNOLOGIES FOR MINIMIZING ENVIRONMENTAL DAMAGE AND REGIONAL DEVELOPMENT: THE CASE OF THE ADAPTIVE SYSTEM «ASTRA»

E.F. SHAMAEVA<sup>1</sup>, M.SH. SALAMANOVA<sup>2</sup>,  
A.A. ASONOV<sup>3</sup>, M.V. GRECHITAEVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> STATE UNIVERSITY OF MANAGEMENT, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

<sup>2</sup> GROZNY STATE OIL TECHNOLOGICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ACADEMICIAN M.D. MILLIONSHCHIKOV, GROZNY, RUSSIAN FEDERATION

<sup>3</sup> ООО "DEVELOPMENT ADMINISTRATION AND OPERATION", ST. PETERSBURG, RUSSIAN FEDERATION

Modern environmental challenges and resource limitations require the introduction of innovative technologies in the field of waste management. The article examines modern technological solutions, including the adaptive thermal decomposition station «Astra», which enables the processing of carbon-containing materials to obtain secondary raw materials and energy. The technical characteristics of the installation, its environmental and economic advantages, as well as prospects for its application in regional waste management systems are considered. Key problems and opportunities for the implementation of innovative technologies are analyzed, taking into account modern environmental requirements. It is shown that the application of the presented technologies contributes to reducing negative impacts on the environment and creating new opportunities for the sustainable development of territories.

The work was carried out within the framework of the Russian Science Foundation project N 24-69-00043, <https://rscf.ru/project/24-69-00043/>.

**KEY WORDS:** waste recycling, modern technologies, adaptive thermal decomposition station «Astra», environmental safety, sustainable regional development, circular economy

## ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

За годы экономического роста, не согласованного с возможностями биосферы, окружающей природной среде нанесен беспрецедентный вред. Масштабы экономической деятельности, опирающиеся на научно-технический прогресс, привели к глобальному экологическому кризису [1, 4, 5]. Регионы мира сталкиваются с деградацией биосферы и природных сред (водной, наземно-воздушной, почвенной, организменной), что ставит под угрозу возможность сохранения благоприятной среды и высокого качества жизни человека. Так, анализ числа природных катастроф и последствий от них показывает, что среднее число жертв только от природных катастроф возросло с 53 в 1994 г. до 260 человек в 2023 г. (рис. 1).

Тревожная ситуация также складывается по итогам анализа техногенных катастроф, их масштаба и последствий [1, 3]. Понимание растущего влияния создаваемых человеком объектов инфраструктуры (техносферы) и роли антропогенного воздействия (антропосферы) требует формирования сбалансированной модели управления взаимодействием биосферы, антропосферы и техносферы.

По данным Минприроды РФ, в России ежегодно образуется около 70 млн т бытовых отходов. Однако, по итогам 2019 г., лишь 5–7% этих отходов направлялось на переработку [7, 9, 10, 13]. Основная причина – слаборазвитая система управления отходами и вторичными ресурсами. Ситуация в производственном секторе еще сложнее: многие предприятия вынуждены самостоятельно утилизировать отходы из-за недостаточного уровня развития перерабатывающей отрасли в стране.

Ситуация со вторичной переработкой в отрасли по обращению с отходами характеризуется необходимостью образователя отходов экономить на утилизации

отходов, сокращая объемы доступными способами. Ввиду отсутствия эффективных и экологических технических решений по утилизации захоронение является наиболее доступным и понятным для мусорообразователей (производителей) способом завершения производственного цикла. Переработка отходов направлена на сокращение количества мусора и получение вторичного сырья (в основном это касается ТКО). Что касается энергетической утилизации, то этот метод обращения с отходами пока находится на стадии оценки его эффективности и целесообразности.

Можно выделить несколько причин сложившейся ситуации в отрасли по обращению с отходами:

1. Технический парк рассчитан на перевозку и накопление отходов от места образования до места накопления.
2. Законодательная и нормативная база практически не допускает иных способов утилизации, кроме захоронения и сжигания (обезвреживания). Отсутствует альтернативный, разрешенный законодательством способ применения мусора как источника сырья, топлива, энергии.
3. Научное и технологическое развитие отрасли ограничено самой отраслью. Например, в территориальных схемах по обращению с отходами не предусмотрена возможность проведения НИОКР по направлению развития переработки сырья, а любое применение технологических решений не интересно для игроков рынка.
4. «Нулевая» привлекательность отрасли для инвесторов, отрасль существует (не развивается) только за счет собственной прибыли, которая в большинстве регионов РФ отрицательная.

При этом обычные подходы к обращению с отходами, включая полигонное захоронение и сжигание, наносят существенный ущерб окружающей среде, здоровью людей и устойчивости экосистем. Данные проблемы делают особенно актуальным поиск оптимальных способов вторичной переработки отходов в соответствии с принципами устойчивого развития [12, 14, 19].

За последние 100 лет эволюция научных подходов к развитию общества и государства прошла несколько этапов: от доминирования чисто экономической модели к социально-экономической (с 1960-х гг.), а затем к эколого-социо-экономической парадигме (с начала 1990-х гг.). Совершенствование механизмов стратегического планирования, основанное на пересмотре рыночных принципов хозяйствования, обусловило необходимость учета баланса социальных, экономических и экологических факторов. Это привело к формированию новой модели устойчивого развития территорий, фундаментальные основы которой заложены в понимании организации и организационных систем. Объективным направлением для исследования уменьшения техногенного воздействия на окружающую среду стало изучение возможности применения в

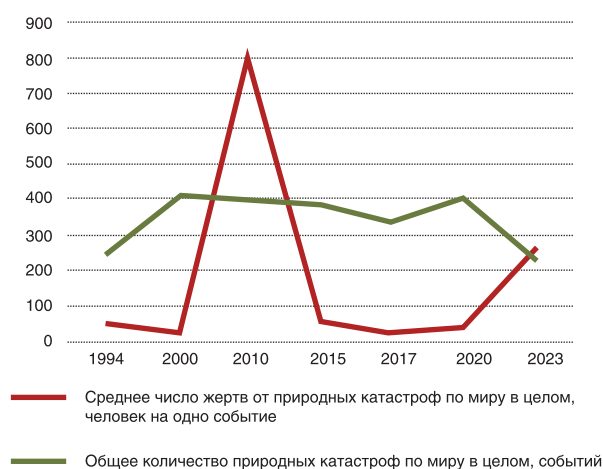


РИС. 1.

Динамика количества природных катастроф и смертности от них по миру в целом

промышленности концепции экономики замкнутого цикла, нулевого воздействия на окружающую среду и переход от классических методов утилизации к принципу энергоутилизации, с применением технологий для уменьшения выбросов углекислого газа и возврата потенциала энергии обратно в процесс производства.

Цель настоящего исследования – разработка подходов к решению проблемы утилизации отходов с минимальным экологическим воздействием.

Задачи исследования: проанализировать применимость фундаментальных основ понимания организационных систем для организации территориальных экономических систем; оценить проблемы утилизации отходов в Российской Федерации; рассмотреть технологические возможности утилизации отходов при минимизации экологического воздействия.

#### МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование выполнено в рамках проекта 24-69-00043 Российского научного фонда «Исследование проблем создания и модификации полифункциональных композитов с применением техногенного сырья и низкоуглеродных технологий в рамках стратегии управления рациональным природопользованием». В рамках работы использованы статистические данные, изучена литература по вопросам классификации организационных систем, разработано технико-экономическое обоснование проекта по утилизации отходов.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Отечественные работы института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Д.А. Новиков [8] и другие) заложили фундаментальные основы понимания организации и организационных систем, их классификации (табл. 1).

Региональная организационная система – это часть более крупной системы (надсистемы), обладающая определенными пространственно-временными границами и внутренней структурой (связями между элементами). Она представляет собой сложную систему, объединяющую: природную подсистему, население, осуществляющее хозяйственную деятельность и обмен ресурсами, подсистему управления с внешними и внутренними взаимодействиями. В ее состав входят разнородные компоненты: организационные (люди), социальные (общественные отношения), природные (экосистемы и ресурсы), производственные (техно-экономические структуры), а также механизмы и правила управления. Прикладные задачи управления развитием таких систем включают учет закономерностей функционирования и эволюции природных подсистем, а также согласование их динамики с социально-экономическими процессами.

Е.Ф. ШАМАЕВА, М.Ш. САЛАМАНОВА,  
А.А. АСОНОВ, М.В. ГРЕЧИТАЕВА  
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ  
ОТХОДОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
УЩЕРБА И РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ  
АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ «АСТРА»

Таким образом, территориальная экономическая система может рассматриваться как организационная система, которая объединяет разнородные процессы взаимодействия подсистем и имеет междисциплинарный характер [8] (рис. 2).

Теоретический анализ основ устойчивого развития территориальных экономических систем создает основу для перехода к практике территориальной организации утилизации отходов. На региональном уровне это проявляется, в том числе, в выборе оптимальных методов переработки: от традиционного захоронения и сжигания до современных технологий рециклинга и энергоутилизации.

Проблема утилизации отходов при этом выходит на первый план, так как такой выбор не может быть универсальным и требует оценки экономических затрат, доступности инфраструктуры, транспортной логистики и ожидаемой экономической результативности. Особое значение приобретает анализ возможных доходов от вторичного использования сырья и генерации энергии, что позволяет оценить не только экологическую, но и экономическую эффективность решений.

Таким образом, развитие территориальных экономических систем напрямую связано с принципами замкнутого цикла, аналогичного природным процессам, и с эффективным решением проблем утилизации отходов как ключевого условия устойчивого развития.

#### ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ<sup>1</sup> В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Согласно данным Роспотребнадзора, динамика образования отходов производства и потребления в Российской Федерации показывает устойчивую тенденцию увеличения их объема. Ту же тенденцию демонстрирует и анализ динамики размещения отходов производства и потребления на объектах, принадлежащих предприятию. Параллельно растет и объем отходов производства и потребления, подвергшихся утилизации и обезвреживанию (рис. 3)<sup>2</sup>. При этом источником наибольшего объема отходов в 2023 г. стала добывающая промышленность (Доклад, 2023).

<sup>1</sup> Отходы производства (ФЗ от 24.06.1998 № 89-ФЗ Об отходах производства и потребления (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.06.2020)) – остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и утратившие полностью или частично потребительские свойства; вновь образующиеся в процессе производства попутные вещества, не находящие применения. В отходы производства включаются вмещающие и вскрышные породы, образующиеся при добыче полезных ископаемых, побочные и попутные продукты, отходы сельского хозяйства.

<sup>2</sup> Заметим, что сам объем производства и потребления не уменьшается, что говорит скорее о том, что какую-то часть отхода просто перестали называть отходом, либо произошло сокращение объема (например методом сжигания), но тогда динамика в 9% говорит об очень большом объеме, который либо сожгли, нанеся вред окружающей среде, либо поменяли название отхода и назвали его, допустим, сырьем, – все это по логике должно вызвать кратный скачок в следующем году, так как фактически новых средств и способов утилизации общественности не представлено.

ТАБЛИЦА 1.

Анализ понятия «организационная система»

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Определение | Организационная система – объединение людей (участников), которые совместно реализуют программу и действующих на основе согласованных правил. Основными структурными элементами являются люди, которые осуществляют преобразование ресурсов данной системы. Организационная система обладает внутренней иерархией и структурой [21]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Сложная организационная система – сложная система, обладающая свойствами целостности и эмерджентности – взаимосвязь множества элементов, образующих целостность и действующих для достижения глобальной цели организации. Понимается системный комплекс, который включает компоненты: субъектов, информационных средств, человеческих и информационных ресурсов, образующих структуру, находящихся в связях и отношениях, образующих целостность, и обладающих качеством эмерджентности, не присущим отдельным участникам системы [20] |
| Особенности | Наличие нормативов (стандартов), регулирующих совместную деятельность участников, выступает системообразующим фактором. Совокупность процедур, законодательных актов и нормативных правил, определяющих взаимодействие участников организационной системы, формирует механизм ее функционирования. Этот механизм не является жестко фиксированным и может варьироваться в зависимости от конкретной системы. Факторы, влияющие на модель организационной системы: состав участников (свойства системы зависят от ее элементов); структура (определяется решениями руководства и возможностями участников); ресурсы (человеческие, материальные, интеллектуальные); нормативная база; мотивация участников; внутренние противоречия (между интересами системы, подразделений и отдельных лиц); информационные ресурсы на момент принятия решений; внешние и внутренние связи; субъективная оценка деятельности руководством; социальные отношения между участниками | Сложная организационная система состоит из двух ключевых компонентов — технического и человеческого. В ее структуру входят следующие подсистемы: технические, технологические, информационные, коммуникационные, системы хранения данных. Такие системы обладают свойством постоянного усложнения и масштабирования, что проявляется в их устойчивой тенденции к росту и расширению                                                                                                                                                    |
| Применение  | Организационные системы используют для решения задач, у которых отсутствуют типовые схемы решения по причине их новизны и проблематичности. Примерами организационных систем служат различного рода проектные, управленческие и другие организации, а также коллективы людей и даже в некоторых случаях отдельный человек                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Управленческие решения принимаются с учетом как экспертного мнения, так и данных, полученных с помощью аналитических методов и цифровых технологий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

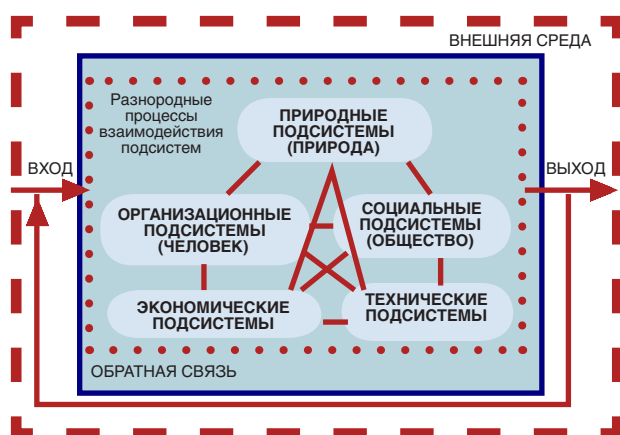


РИС. 2.

Взаимосвязь разнородных процессов подсистем

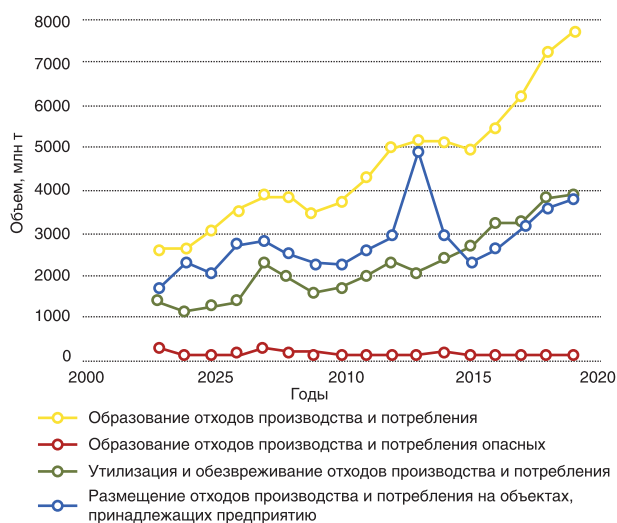


РИС. 3.

Динамика образования и утилизации отходов производства и потребления в Российской Федерации

С развитием промышленности и ростом числа производственных предприятий увеличивается объем отходов и вторичного сырья. Многие компании не могут самостоятельно утилизировать побочную продукцию и вынуждены прибегать к различным способам ее ликвидации: отправка на специализированные фабрики по утилизации или переработке отходов; захоронение отходов и вторичного сырья; экспорт за границу для последующей утилизации или переработки (на платной основе) [1, 6, 7, 9]. Однако последний вариант часто оказывается экономически невыгодным, особенно для предприятий, расположенных в центральных или арктических регионах России, поскольку транспортировка требует значительных затрат.

Сегодня утилизация отходов (их сбор и переработка) рассматривается как ключевой фактор устойчивого развития территориальных экономических систем, а также показатель технологического и культурного прогресса. В странах с развитыми безотходными технологиями акцент смещается не только на переработку, но и на модернизацию производственных процессов, минимизирующую образование загрязняющих веществ и снижающую нагрузку на окружающую среду.

Отходы, не вовлеченные в повторное использование, подлежат утилизации на специальных полигонах, оснащенных инженерными сооружениями для защиты экосистем [7, 9, 10, 11]. Однако этот метод требует изъятия значительных площадей сельскохозяйственных земель. Альтернативой является сжигание отходов на термических заводах, однако данный способ приводит к выбросам вредных веществ (токсичных газов, золы и пепла), что негативно влияет на качество воздуха [9, 10]. Это очень затратное занятие, передовые страны стараются не использовать компоненты или ингредиенты, которые впоследствии не смогут быть переработаны либо повторно использованы.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

На сегодняшний день в мире применяются различные методы утилизации отходов: переработка, сжигание с энергетической утилизацией, захоронение и компостирование. Их использование зависит от уровня социально-экономического развития страны, состояния инфраструктуры и экологической политики. По данным за 2020–2022 годы, распределение основных способов утилизации отходов выглядит следующим образом [15–17]:

- переработка (рециркуляция) охватывает около 30–40% отходов;
- сжигание с получением энергии – 20–25%;
- захоронение на полигонах – 30–40%;
- компостирование и биологическая обработка – около 10%.

Е.Ф. ШАМАЕВА, М.Ш. САЛАМАНОВА,  
А.А. АСОНОВ, М.В. ГРЕЧИТАЕВА  
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ  
ОТХОДОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
УЩЕРБА И РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ  
АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ «АСТРА»

**Европа.** В 2021–2022 годах ведущими методами здесь стали переработка и сортировка отходов, а также сжигание с энергетической целью. В ряде стран – Германии, Швеции и др. — уровень переработки превышает 50%, а развитие мусоросжигательных заводов поддерживается на государственном уровне (Eurostat, 2022).

**США.** В 2020–2021 гг. наиболее распространены способами оставались захоронение и переработка. При этом активно внедряются технологии сжигания отходов с целью генерации энергии. Согласно данным ЕРА, около 32% отходов перерабатывается или компостируется, а остальная часть направляется на полигоны (ЕРА, 2022).

**Азия.** Страны региона демонстрируют значительные различия. В Японии и Южной Корее применяются комбинированные подходы, где переработка сочетается со сжиганием. В Китае постепенно растет доля переработки, однако значительная часть отходов все еще захоранивается в силу ограниченных инфраструктурных возможностей (UNEP, 2021).

**Мировая картина.** В среднем около 30% отходов перерабатывается или компостируется, примерно 20% сжигается для получения энергии, а оставшаяся часть захоранивается. При этом распределение методов определяется уровнем экономического развития и степенью разработки и внедрения экологически ориентированных технологий.

Современные технологические решения в области утилизации отходов ориентированы на снижение негативного влияния на экологию. Ярким примером служит адаптивная станция термического разложения «Астра»<sup>3</sup>.

Установка «Астра» предназначена для оптимизации расходов на утилизацию отходов при минимизации экологического воздействия, обеспечивая переработку любых углеродсодержащих отходов. В результате технологического процесса образуется инертная зола, применяемая в качестве вторичного сырья, а также генерируется тепловая энергия.

Установка «Астра» трансформирует проблему утилизации отходов в экономически эффективное решение: при использовании оборудования сокращаются значительные расходы на логистику, снижаются косвенные издержки, связанные с повреждением дорожного покрытия мусоровозами и с экологическими рисками: загрязнением грунтовых вод, деградацией земель на десятилетия и эмиссией вредных газов, вызывающих неприятные запахи вблизи объектов.

«Астра» изначально спроектирована для интеграции с существующими системами сортировки, shredding, очистки выбросов и удаления золы, что позволяет использовать ее на объектах, где применя-

<sup>3</sup> ООО «Развитие администрирование и эксплуатация» (Санкт-Петербург, Россия).

ются инсинераторы и иные технологии термической обработки отходов. Основная организационная задача – накопление трехсуточного запаса подготовленных отходов (300–360 тонн) и обеспечение их бесперебойной подачи в объеме 2–5 тонн в час.

Технология является новой и проекты по внедрению начались весной 2025 г., а компания-разработчик находится на этапе вывода продукта на рынок. Так, в декабре 2024 г. прошли испытания опытно-промышленной установки «Астра» с производительностью до 5 т подготовленного сырья в час (коэффициент плотности 0,8). Проверки подтвердили эффективность технологии утилизации отходов, надежность конструктивных решений при критических нагрузках и готовность установки к промышленной эксплуатации. Успешно выполнен запуск на промышленной площадке с переработкой отходов в режиме реального времени, определено фактическое время выхода на рабочий режим.

Адаптивная станция термического разложения «Астра» включает две стадии:

- первоначальная (подготовительная) стадия – это достаточно известный и распространенный метод «пиролиз», при котором из органического сырья (без доступа кислорода) за счет внешнего нагрева образуется «синтез-газ» и сопутствующие органические продукты в газообразном состоянии;
- вторичная (окончательная) стадия – это метод «парциальное окисление», при котором в образовавшуюся смесь газообразных органических продуктов под давлением, дозированно подается окислитель (кислород, озон и т.д.), что приводит к

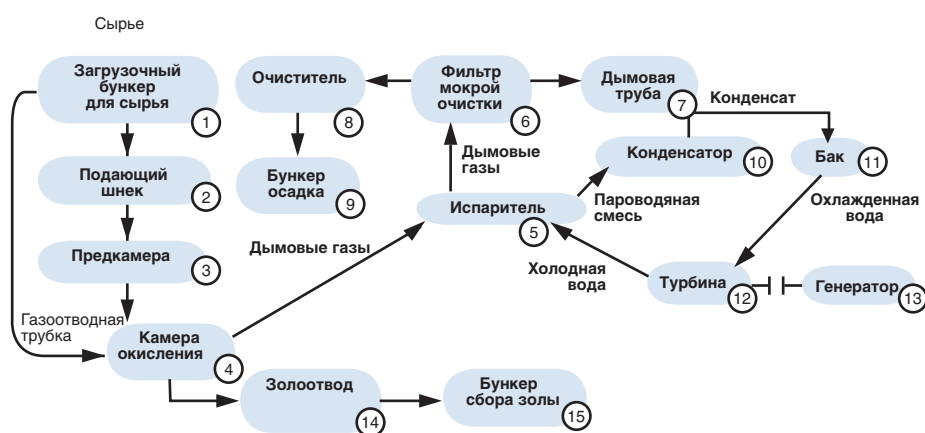
дальнейшему увеличению температуры (изотермический процесс), и имеющиеся после стадии «пиролиз» органические молекулы распадаются на минеральные составляющие, в итоге образующие на выходе процесса  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

В сумме эти два процесса, происходящих последовательно (за счет перемещения шнеком внутри реактора), образуют синергетический эффект, получивший термин «резонансный термофронтальный синтез». После того, как данная реакция стабилизируется (требуется около 12 часов), часть тепловой энергии перегретых газов закольцовывается (поступает) на вход, что даст возможность отключить внешний источник нагрева пиролизной стадии. В конечном итоге получается (условно), что в системе «Астра» сам углеводородсодержащий отход выступает топливом для ее работы, а его калорийность определяет время и температуру протекания процесса (рис. 4–5).

Обратим внимание, что особое значение в утилизации отходов приобретает анализ затрат и доходов, в том числе от вторичного использования сырья и генерации энергии. Экономическая результативность становится ключевым критерием при выборе технологий переработки, обеспечивая формирование устойчивой модели управления отходами, которая учитывает как экологическую безопасность, так и экономическую целесообразность.

Например, в Республике Алтай ежегодно образуется порядка 250–300 тыс. тонн твердых коммунальных отходов, при этом в туристический сезон их объем возрастает почти вдвое. Основная часть отходов по-прежнему направляется на захоронение, а уровень

переработки не превышает 10–12%, что противоречит стратегическим приоритетам устойчивого развития региона. Внедрение адаптивной станции термического разложения «Астра» с производительностью до 5 т в час (до 40 тыс. тонн в год) позволит существенно сократить объем захоронений и обеспечить переработку значительной доли регионального потока отходов.



1. Загрузочный бункер предназначен для загрузки исходного сырья.
2. Подающий шнек предназначен для перемещения сырья в предкамеру.
3. Предкамера предназначена для предварительного прогрева сырья.
4. Камера окисления предназначена для высокотемпературного разложения сырья.
5. Испаритель предназначен для парообразования.
6. Фильтр мокрой очистки предназначен для очистки дымовых газов.
7. Дымовая труба предназначена для отвода дымовых газов.
8. Очиститель предназначен для фильтрации и отвода мелкодисперсных сажистых образований в бункер осадка.
9. Бункер осадка предназначен для сбора мелкодисперсных образований.
10. Конденсатор предназначен для преобразования пара в жидкость.
11. Бак предназначен для сбора конденсата и его последующей подачи в зону высокого давления турбины для вращения генератора.
12. Турбина предназначена для передачи крутящего момента на генератор.
13. Генератор предназначен для выработки электроэнергии.
14. Золоотвод предназначен для отвода зольного остатка.
15. Бункер сбора золы предназначен для сбора зольного остатка.

РИС. 4.

Функциональная схема работы установки «Астра»

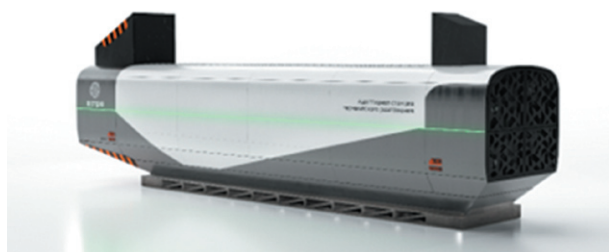


РИС. 5.  
Опытно-промышленная установка «Астра»

При этом с точки зрения концепции развития Республики Алтай, ориентированной на модель устойчивого ноосферного развития [2, 18], технология «Астра» может рассматриваться как элемент инновационной инфраструктуры, так как не только минимизирует экологические риски, но и формирует условия для ресурсно-энергетической безопасности региона за счет выработки тепловой и электрической энергии из отходов, создавая предпосылки для роста энергетической независимости и снижения тарифной нагрузки на население.

В этом контексте адаптивная станция термического разложения «Астра» выступает примером технологического решения, способного органично интегрироваться в региональные системы управления отходами и создавать условия для устойчивого

Е.Ф. ШАМАЕВА, М.Ш. САЛАМАНОВА,  
А.А. АСОНОВ, М.В. ГРЕЧИТАЕВА  
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ  
ОТХОДОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
УЩЕРБА И РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ  
АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ «АСТРА»

развития территорий. Она позволяет перерабатывать углеродсодержащие материалы с минимизацией воздействия на окружающую среду и одновременно формирует экономический эффект для развития.

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ «АСТРА»

Система «Астра» монтируется непосредственно на полигоне или интегрируется в технологическую линию предприятия, что исключает необходимость транспортировки отходов. Перерабатывает отходы до 5 т в час (при плотности 0,8 тонн/м<sup>3</sup>), не выделяя вредные вещества в атмосферу. Зольный остаток соответствует 4–5 классу отходов по Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО), если не применять его в качестве сырьевого материала. Выбросы соответствуют СанПиН 2.1.3684–21 и ГН 2.1.6.3492–17. Обработывает все виды отходов с содержанием углерода: органические материалы, древесину, резину, пластик и другие. Не подходят песок, стекло, бетон, металл. Генерирует от 2 Гкал тепла и при подключении дополнительного оборудования от 500 кВт × ч электроэнергии (с помощью блока генерации электрической энергии «Аэрлифт»).

Основные характеристики установки «Астра» представлены в таблице 2.

Рассмотрим рентабельность коммерциализации электроэнергии, получаемой из тепловой энергии как из вторичного продукта при утилизации RDF-топлива с помощью адаптивной станции термического разло-

ТАБЛИЦА 2.

Характеристики адаптивной станции термического разложения «Астра»

| № пп | Показатель                                                                                                                | Характеристика                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Производительность                                                                                                        | перерабатывает отходы плотностью 0,8–5 т/м <sup>3</sup> с производительностью до 5 тонн в час; обрабатывает отходы с содержанием углерода: органику, древесину, резину, пластик и др. (не подходят: песок, стекло, бетон, металл) |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 2    | Экологичность                                                                                                             | зольный остаток соответствует 4–5 классу опасности (ФККО); выбросы соответствуют нормативам: СанПиН 2.1.3684–21 и ГН 2.1.6.3492–17                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3    | Энергогенерация                                                                                                           | тепловая энергия: от 2 Гкал/час;<br>электрическая энергия (при подключении когенерации): от 500 кВт×ч.                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 4    | Рентабельность коммерциализации электроэнергии из RDF-топлива (англ. refuse-derived fuel, топливо, полученное из отходов) | Источник сырья                                                                                                                                                                                                                    | Используется RDF-топливо (refuse-derived fuel), получаемое из отходов, что снижает затраты на закупку сырья                                                                                                                                          |
|      |                                                                                                                           | Экономические преимущества                                                                                                                                                                                                        | снижение затрат на утилизацию за счет переработки отходов на месте; дополнительный доход от продажи электроэнергии (500+ кВт×ч/час) и тепла (2+ Гкал/час); возможность работы в рамках зеленого тарифа или продажи энергии промышленным потребителям |
|      |                                                                                                                           | Окупаемость                                                                                                                                                                                                                       | зависит от тарифов на электроэнергию и объемов переработки; средний срок окупаемости при коммерческой реализации энергии – 3–5 лет                                                                                                                   |
|      |                                                                                                                           | Экологические льготы                                                                                                                                                                                                              | возможность получения субсидий и налоговых преференций за использование возобновляемых источников энергии; улучшение экологического рейтинга предприятия                                                                                             |

жения «Астра». Затраты на стороннее оборудование не учитываются. Предполагается, что производственная площадка обладает всей необходимой механизацией для подачи RDF-топлива в переработку. Также не учитывается дополнительный доход от продажи и/или использования побочных продуктов от эксплуатации оборудования, таких как зольный остаток и углекислый газ. Не учитывается доход и за сам процесс утилизации и прием отходов. Исходные данные для расчета представлены в таблицах 3–5.

На основании приведенных данных рассчитаны: чистая приведенная стоимость (NPV), которая составила 272 515 601,83 руб.; внутренняя норма доходности (IRR) – составила 51%; срок окупаемости

(PP) – составил 1,92 года; чистый денежный поток (NCF) – составил 88040640,00 руб. Приведенные расчеты показывают эффективность проекта.

Представленные расчеты проведены по консервативному сценарию – с учетом максимальных затрат и минимальных доходов (утилизация, тепловая и электрическая энергия). Это гарантирует, что при промышленной реализации фактические показатели будут не ниже расчетных.

ТАБЛИЦА 3.

Капитальные затраты на проект внедрения адаптивной станции «Астра»

| Параметр                                            | Значение       |
|-----------------------------------------------------|----------------|
| Стоимость оборудования в базовой комплектации, руб. | 160 000 000,00 |
| Доставка по России, руб.                            | 1 200 000,00   |
| Монтаж и пуско-наладочные работы, руб.              | 8 000 000,00   |
| Обучение персонала, руб.                            | 140 000,00     |
| Расчетный тариф за электричество руб/КВт            | 8              |
| Общие капитальные затраты, руб.                     | 169 340 000,00 |

ТАБЛИЦА 4.

Операционные затраты на проект внедрения адаптивной станции «Астра»

| Параметр                                                                                                 | Значение      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Эксплуатационные затраты, руб/год                                                                        | 4 800 000,00  |
| Эксплуатационные затраты (текущий ремонт, непредвиденные ремонтные работы, расходные материалы), руб/год | 3 200 000,00  |
| ФОТ операторов (12 чел.), включая взнос ЕНП, руб/год                                                     | 22 844 160,00 |
| Вывоз (утилизация) зольного остатка, руб/год                                                             | 2 203 200,00  |
| Расход на покупку RDF, руб/год                                                                           | 19 584 000,00 |
| Годовая амортизация из расчета полезного использования оборудования в 10 лет, руб.                       | 16 000 000,00 |

ТАБЛИЦА 5.

Производительность адаптивной станции термического разложения «Астра»

| Параметр                                                                 | Значение    |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Минимальная мощность (тонны в час)                                       | 2           |
| Режим работы                                                             | Непрерывный |
| Кол-во рабочих смен в году с учетом остановки оборудования для ТО (дней) | 340         |
| Годовая мощность (тонн)                                                  | 16 320      |
| Расчетный тариф за электричество руб/КВт                                 | 8           |
| Стоимость 1 тонны RDF*, руб.                                             | 1 200       |
| Коэффициент уплотнения RDF (зольный остаток)                             | 0,05        |
| Зольный остаток в год (тонн)                                             | 816         |
| Стоимость утилизации зольного остатка (вывоз на полигон) руб./тонна      | 2 700,00    |
| Генерация тепла из 1 тонны RDF, ГКал                                     | 2,4         |
| Генерация электричества из 1 ГКал тепла, кВт                             | 500         |
| Выработка электроэнергии, кВт в год                                      | 19 584 000  |
| Расход на покупку RDF, руб./год                                          | 19 584 000  |
| Доход от продажи и/или экономии электричества, руб/год                   | 156 672 000 |

\* Под стоимостью RDF можно так же понимать стоимость подготовки отходов ТКО и производства (сортировка, просеивание, шредирование), так как RDF топливо полностью соответствует техническому регламенту разрешенного к подаче в Астру сырья, и его стоимость полностью покрывает затраты на все процессы подготовки для утилизации. Это означает, что стоимость 1 тонны RDF будет примерно равна стоимости подготовки 1 т мусора (ТКО) для Астры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарастание проблем с утилизацией отходов, ухудшением экологической ситуации и требования-ми устойчивого развития диктуют необходимость осваивать рециклинг и энергоутилизацию: ресурсы ограничены и утилизация их привычным для страны способом уже не актуальна. При этом опыт других стран показывает, что рециклинговая система может функционировать и сопровождаться не только экологической, но и экономической выгодой как для государства, так и для населения. Целесообразно освоение потенциала энергии из отходов как пути развития промышленности и отраслей энергетики и обращения с отходами. При этом в условиях промышленного развития РФ особое место занимают вопросы утилизации отходов промышленности, а также исполнения государственных программ, направленных на экологическое благополучие.

В ходе настоящего исследования проанализирована применимость фундаментальных основ понимания организационных систем для организации территориальных экономических систем; оценены проблемы утилизации отходов в Российской Федерации; рассмотрены технологические возможности утилизации отходов при минимизации экологического воздействия; предложено технико-экономическое обоснование использования адаптивной станции термического разложения «Астра».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вайцзеккер Э., Майкл Х. Смит, Харгроуз К. Фактор пять. Формула устойчивого роста. Аст-Пресс, 2013. С. 368. ISBN 978-5-462-01288-4.
2. Головин А.А., Шамаева Е.Ф. Методология разработки концепции устойчивого развития горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 16. № 4 (62). С. 1743–1755.
3. Государственный реестр объектов размещения отходов. URL: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/> Дата обращения: 04.07.2025.
4. Игнатьева А.В., Кнауэ Р.В. Анализ природно-техносферной безопасности субъектов Сибирского федерального округа России с использованием методологии INFORM // Успехи современного естествознания. 2021. № 12. С. 120–126.
5. Кнауэ Р.В., Шамаева Е.Ф., Попов Е.Б. Устойчивое региональное развитие арктических территорий в контексте безопасности // Сетевое научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление». 2019. Т. 15. Вып. 3 (44).
6. Любимова А.В., Шамаева Е.Ф., Быков М.А. Картирование объектов обращения с отходами и вторичного сырья на примере Арктической зоны России // Геоинформатика, 2021. №3. DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-48-54.

Е.Ф. ШАМАЕВА, М.Ш. САЛАМАНОВА,  
А.А. АСОНОВ, М.В. ГРЕЧИТАЕВА  
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ  
ОТХОДОВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО  
УЩЕРБА И РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ  
АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ «АСТРА»

7. Национальное бюро по переработки отходов. URL: <http://www.nbpro.ru>. Дата обращения: 04.07.2025.
8. Новиков Д.А. Методология управления. М.: Ли-брокком. 2012. 126 с. ISBN 978-5-397-02308-5.
9. Обращение с отходами: российский и финский опыт. Коллектив авторов. СПб.: ООО «Политехника Сервис». 2021. 158 с. ISBN 978-5-00182-003-1.
10. Отраслевой портал «Отходы.Ру». URL: <http://waste.ru>. Дата обращения: 04.07.2025.
11. Приказ Минприроды России от 30.09.2011 № 792 «Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов».
12. Фаюстов А.А. Утилизация промышленных отходов и ресурсосбережение: основы, концепции, методы. М.: Инфра-Инженерия. 2019. 272 с. ISBN: 978-5-9729-0369-6.
13. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: [https://rpn.gov.ru/press/news/rossiya\\_sokratila\\_obrazovanie\\_otkhodov\\_proizvodstva\\_i\\_potrebleniya/](https://rpn.gov.ru/press/news/rossiya_sokratila_obrazovanie_otkhodov_proizvodstva_i_potrebleniya/). Дата обращения: 04.07.2025.
14. Хорошавин Л.Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2016. ISBN 978-5-7996-1747-9.
15. Электронный ресурс. Eurostat. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/documents/10186/0/Environmental\\_Waste\\_Statistics\\_in\\_EU.pdf](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/10186/0/Environmental_Waste_Statistics_in_EU.pdf). Дата обращения: 25.08.2025 г.
16. Электронный ресурс. EPA. URL: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-summary-facts-and-figures-waste>. Дата обращения: 25.08.2025 г.
17. Электронный ресурс. UNEP. URL: <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>. Дата обращения: 25.08.2025 г.
18. Электронный ресурс. URL: <https://guu.ru/%D1ysclid=mevc6he46q691326794>. Дата обращения: 25.08.2025 г.
19. Troschinetz A.M. Twelve factors influencing sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. URL: <https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1276&context=etds>. Дата обращения: 04.07.2025.

## REFERENCE

1. WEIZSÄCKER E., SMITH M.H., HARGROVES K. Factor Five. Formula for Sustainable Growth. Ast Press. 2013:368. ISBN 978-5-462-01288-4. (In Russian).
2. GOLOVIN A.A., SHAMAIEVA E.F. Development of the Conceptual Framework for Sustainable Mountain Territories. *Ustoichivoye Razvitiye Gornyykh Territoriy*. 2024;16;4 (62): 1743–1755. (In Russian).
3. State Register of Waste Disposal Sites. Available at: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/>. Retrieved Jul 4, 2025.

4. IGNATYEVA A.V., KNAU R.V. Environmental Safety Analysis of Subjects of the Siberian Federal District Using the INFORM Methodology. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*. 2021;(12): 120–126. (In Russian).
5. KNAU R.V., SHAMAEVA E.F., POPOV E.B. Sustainable Regional Development of Arctic Territories within Security Context. *Setevoe Nauchnoe Izdanie "Ustoichivoe Innovatsionnoe Razvitie: Proektirovanie i Upravlenie"*. 2019;15;3;(44). (In Russian).
6. LYUBIMOVA A.V., SHAMAEVA E.F., BYKOV M.A. Mapping Objects of Waste Management and Secondary Raw Materials in Russia's Arctic Zone. *Geoinformatika*. 2021;(3). DOI: 10.47148/1609-364X-2021-3-48-54. (In Russian).
7. National Waste Recycling Bureau. Available at: <http://www.nbpо.ru>. Retrieved Jul 4, 2025.
8. NOVIKOV D.A. Methodology of Management. Librokom. 2012:126. ISBN 978-5-397-02308-5. (In Russian).
9. Obrashchenie s otkhodami: rossijskij i finskij opyt. Kollektiv avtora. SPB: Politehnika Servis; 2021:158. ISBN 978-5-00182-003-1. (In Russian).
10. Industry Portal Waste.Ru. Available at: <http://waste.ru>. Retrieved Jul 4, 2025. (In Russian).
11. Order of Ministry of Natural Resources of Russia N 792 dated Sept. 30, 2011. «On Approval of Procedure for Keeping State Cadaster of Wastes». (In Russian).
12. FAYUSTOV A.A. Utilization of Industrial Waste and Resource Conservation: Foundations, Concepts, Methods. Moscow: Infra-Inzheneriya. 2019:272. ISBN: 978-5-9729-0369-6. (In Russian).
13. Federal Environmental Oversight Agency. Available at: <https://rpn.gov.ru/press/news/rossiya-sokratila-obrazovanie-otkhodov-proizvodstva-i-potrebleniya/>. Retrieved Jul 4, 2025. (In Russian).
14. HOROSHAVIN LB. Key Technologies for Processing Industrial and Municipal Solid Waste. Ekaterinburg: Uralskij Universitet Publ. 2016. ISBN 978-5-7996-1747-9. (In Russian).
15. Electronic resource. Eurostat. Available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/documents/10186/0/Environmental\\_Waste\\_Statistics\\_in\\_EU.pdf](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/10186/0/Environmental_Waste_Statistics_in_EU.pdf). Retrieved Aug 25, 2025. (In Russian).
16. Electronic resource. EPA. Available at: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-summary-facts-and-figures-waste>. Retrieved Aug 25, 2025. (In Russian).
17. Electronic resource. UNEP. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook>. Retrieved Aug 25, 2025. (In Russian).
18. Electronic resource. URL: <https://guu.ru/%D1yslclid=mevc6he46q691326794>. Retrieved Aug 25, 2025. (In Russian).
19. TROSHINETZ A.M. Twelve factors influencing sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. URL: <https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1276&context=etds>. 04.07.2025.

**Шамаева Екатерина Федоровна**,  
к.т.н., доцент кафедры управления природопользованием  
Государственного университета управления  
ORCID: 0000-0002-1070-8550

109542, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 99,  
109542, Moscow, Ryazansky Prospekt, 99,  
тел.: +7 (495) 377-89-14, e-mail: ef\_shamaeva@guu.ru

**Саламанова Мадина Шахидовна**,  
д.т.н., доцент кафедры «Технология строительного произ-  
водства» Грозненского государственного нефтяного техни-  
ческого университета имени академика М.Д. Миллионщи-  
кова  
ORCID: 0000-0002-1293-7090

✉ 364051, Чеченская Респ., г. Грозный,  
пр-кт им. Х. А. Исаева, д. 100,  
364051, Chechen Republic, Grozny, avenue  
named after Kh. A. Isaev, 100  
e-mail: Madina\_salamanova@mail.ru

**Асонов Антон Анатольевич**,  
генеральный директор ООО «Развитие администрирование  
и эксплуатация»  
ORCID: 0009-0007-3716-3523

✉ 195426, г. Санкт-Петербург, ул. Хасанская, д. 5, литера А,  
офис 13,  
195426, St. Petersburg, Khasanskaya st., 5, litera A,  
office 13,  
e-mail: nm.sol@bk.ru

**Гречитаева Марина Вячеславовна**,  
д.б.н., профессор кафедры управления природопользова-  
нием Государственного университета управления  
ORCID: 0000-0002-3712-1557

✉ 109542, г. Москва, Рязанский пр-т, д. 99,  
109542, Moscow, Ryazansky Prospekt, 99,  
тел.: +7 (495) 377-89-14, e-mail: moryana12@mail.ru