

Научная статья

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТВЕРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ В АЛМАТЫ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА

Екатерина А. Кузнецова^{ID*}, Шыңғыс С. Сәбит^{ID}, Гульдана М. Минжанова^{ID} к.х.н.,
Корлан К. Хамитова^{ID} к.т.н.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; katrinka-2000@mail.ru (ЕАК), sabitshingys@gmail.com (ШСС), guldana.mg@gmail.com (ГММ), khamitovakorlan@gmail.com (ККХ)
Автор корреспонденции: Екатерина А. Кузнецова, katrinka-2000@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

твердые бытовые отходы
управление отходами
переработка
устойчивое развитие
ответственное потребление
Алматы
ЦУР 12

АБСТРАКТ

Рост урбанизации и увеличение объемов твердых бытовых отходов (ТБО) в Алматы требуют внедрения эффективной системы управления отходами, соответствующей принципам устойчивого развития. Данное исследование направлено на анализ зарубежного опыта утилизации ТБО (Южная Корея, Япония, Великобритания), выявление успешных практик и их адаптацию к условиям Алматы.

Методология включает сравнительный анализ, оценку экономических, экологических и социальных факторов, а также моделирование возможной системы управления отходами. В ходе исследования выявлены ключевые элементы эффективных стратегий переработки и утилизации отходов, таких как цифровизация, отдельный сбор, стимулирующие меры и государственно-частное партнерство.

Результатом работы является разработка оптимальной модели управления ТБО для Алматы с учетом локальных условий, которая включает механизмы законодательного регулирования, технологические инновации и повышение осведомленности населения. Реализация предложенной системы позволит снизить нагрузку на окружающую среду и повысить эффективность утилизации отходов в рамках целей устойчивого развития ООН (ЦУР №12).

По статье:

Получено: 20.02.2025
Пересмотрено: 07.03.2025
Принято: 15.03.2025
Опубликовано: 01.04.2025

Для цитирования:

Кузнецова Е.А., Сәбит Ш.С.,
Минжанова Г.М., Хамитова
К.Х. Оценка эффективности
системы управления
твердыми бытовыми
отходами в Алматы с учетом
международного опыта //
Гидрометеорология и
экология, №1 (116), 2025, 77-
90.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные города сталкиваются с острой проблемой управления твердыми бытовыми отходами (ТБО), и Алматы не является исключением. В условиях роста урбанизации и необходимости устойчивого развития актуальность данной проблемы возрастает. Управление отходами является ключевым элементом в реализации целей устойчивого развития (ЦУР №12 — ответственное потребление и производство), что требует разработки эффективных стратегий и механизмов утилизации ТБО [1].

Настоящая работа рассматривает успешные международные практики обращения с отходами в Южной Корее, Японии и Лондоне с целью адаптации их к условиям Алматы.

Цель исследования – разработка оптимальной системы управления твердыми бытовыми отходами (ТБО) в Алматы на основе анализа международного опыта (Южная Корея, Япония, Лондон), с учетом локальных экономических, социальных и экологических условий, а также интеграции принципов устойчивого развития (ЦУР №12 «Ответственное потребление и производство»).

Задачи исследования:

- Анализ существующей системы управления отходами в Алматы и выявление её недостатков;
- Изучение зарубежных моделей утилизации ТБО и оценку их применимости к условиям Алматы;
- Разработку рекомендаций по внедрению экономически, экологически и социально эффективных решений в систему обращения с отходами города;

– Определение критериев мониторинга и оценки эффективности предложенной системы.

Анализ текущей системы управления ТБО в Алматы.

На данный момент управление ТБО в Алматы осуществляется через систему сбора, транспортировки и захоронения отходов на полигонах. Согласно отчетам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Казахстана, переработка отходов остается на низком уровне (21,1 % на 2021 год), а 79 % полигонов не соответствуют санитарным требованиям [1].

Рассмотрев теоретическую базу управления и утилизации твердых бытовых отходов (ТБО), можно выделить несколько ключевых концепций, которые сформировали основы современного подхода к этой проблеме. Одной из центральных идей является концепция экономики замкнутого цикла (circular economy), которая предполагает максимальное использование ресурсов и минимизацию отходов за счет их переработки, повторного использования и восстановления. В этой концепции отходы воспринимаются не как угроза или проблема, а как ресурс, который необходимо эффективно интегрировать в новые производственные цепочки [2]. В ряде стран, таких как Южная Корея и Япония, данная концепция активно применяется для достижения устойчивого уровня переработки и уменьшения воздействия на окружающую среду. Что касается роли целей устойчивого развития (ЦУР), то они играют важную роль в формировании государственной и муниципальной политики по утилизации отходов. ЦУР №12, которая фокусируется на ответственном потреблении и производстве, предполагает переход от линейной экономики (производство-потребление-утилизация) к более ответственному решению задач управления отходами [3]. В Казахстане, как и во многих других странах, необходимо создавать и внедрять стратегические программные документы, которые отвечают на вызовы устойчивого развития в контексте обращения с отходами. Особенное внимание в последние годы уделяется повышению осведомленности населения и вовлечению граждан в практики раздельного сбора и переработки отходов [4]. Особенности подходов к управлению отходами в контексте ответственного потребления включают акцент на познавательные и стимулирующие методы, такие как информационные кампании, обучение и последующее материальное вознаграждение тех, кто активно сортирует отходы. Особенно важным является создание эффективной инфраструктуры переработки, которая бы обеспечивала легкую доступность для населения и стимулировала более высокий уровень вовлеченности. Всё это подчеркивает важность комплексного подхода – от политических инициатив до практических шагов и изменений в общественном сознании [5].

Современные научные исследования демонстрируют, что управление твердыми бытовыми отходами переходит от традиционных методов захоронения к более комплексным стратегиям, объединяющим инновационные технологии переработки, применение принципов экономики замкнутого цикла и активное вовлечение общества [6]. В литературе подробно рассматриваются современные концепции, в основе которых лежит интеграция технических решений, экономических стимулов и социальных инициатив, позволяющих существенно снизить негативное воздействие отходов на окружающую среду. Акцент делается на необходимости не только переработки, но и повторного использования материалов, что позволяет создавать новые продукты и обеспечивает долговременную устойчивость производства [7].

Особое внимание уделяется роли ЦУР, в частности ЦУР №12, которая направлена на ответственное потребление и производство. Цели этой глобальной инициативы нашли отражение в формировании государственной и муниципальной политики, где разработка нормативно-правовых актов и программ поддержки становится неотъемлемой частью стратегии по управлению отходами. В этом контексте государственные органы стремятся стимулировать переход к моделям, основанным на рациональном использовании ресурсов, сокращении образования отходов и повышении их переработки, что позволяет минимизировать экологический ущерб и способствует устойчивому развитию городов [8...9].

Особенности подходов к управлению отходами в условиях ответственного потребления заключаются в комплексном рассмотрении проблемы, где традиционные методы сменяются системными решениями, объединяющими раздельный сбор, цифровизацию процессов и активное участие граждан. Такой подход позволяет не только оптимизировать расходы и повысить экономическую эффективность, но и формировать экологическую культуру среди населения, создавая прочную основу для долгосрочного развития городской среды [10].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы исследования:

- Данные о текущем состоянии системы управления ТБО в Алматы (статистические отчёты, законодательные акты);
- Международный опыт управления отходами (Южная Корея, Япония, Лондон);
- Экологические и экономические показатели переработки и утилизации отходов.

Методы исследования:

- Сравнительный анализ – изучение зарубежных моделей управления отходами и их применимость к условиям Алматы;
- Экономическая оценка – анализ затрат и эффективности различных подходов (система РАУТ, переработка, цифровизация);
- Социологический анализ – оценка вовлечённости населения и готовности к раздельному сбору отходов;
- Моделирование – разработка оптимальной системы управления отходами для Алматы с прогнозированием её эффективности.

В рамках исследования применяется сравнительный анализ систем управления ТБО, позволяющий оценить эффективность различных моделей на основе комплексного набора критериев. Основными критериями являются технологии переработки отходов, экономическая эффективность, экологические показатели и степень вовлеченности общества в процесс обращения с отходами.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ и выявление оптимальной модели для Алматы.

На основе сравнительного анализа зарубежных систем управления ТБО выделяются конкретные элементы, которые могут быть непосредственно адаптированы для условий Алматы. Исходя из заранее определённых критериев — технологий переработки, экономической эффективности, экологической устойчивости и вовлечённости общества — были проанализированы практики Южной Кореи, Японии и Лондона. Результаты анализа позволяют сформировать интегрированную модель, совмещающую лучшие практики зарубежного опыта [11...13].

В Южной Корее успешно функционирует система, основанная на принципе «Pay-As-You-Throw» (РАУТ), что стимулирует население к раздельному сбору отходов и снижению их образования. Эта модель сопровождается инновационными технологиями переработки и строгим контролем со стороны муниципальных властей. Из неё можно заимствовать именно элемент экономической мотивации граждан, когда сбор и утилизация отходов оплачиваются по фактическому объёму [14...16].

Японская модель характеризуется высокой степенью сортировки отходов и использованием передовых перерабатывающих технологий. Законодательные инициативы и социально-экономические механизмы поддержки устойчивого потребления обеспечивают высокий уровень переработки и минимизацию экологического воздействия. Отсюда целесообразно перенять использование автоматизированных систем сортировки, а также разработку нормативных актов, стимулирующих внедрение экологически чистых технологий [17...19].

Лондонский опыт представляет комплексный подход, где интегрируются общественные и частные инициативы. Система основана на цифровизации процессов

управления отходами, что позволяет обеспечить оперативный мониторинг, прозрачное распределение ресурсов и координацию между государственными и бизнес-структурами. Эта модель демонстрирует важность создания единой информационной системы для контроля за потоками отходов и оперативного реагирования на возникающие проблемы [20].

Таблица 1

Сравнительный анализ систем управления ТБО в Южной Корее, Японии и Лондоне

Критерии	Южная Корея	Япония	Великобритания
Технологии переработки	Применяются инновационные технологии переработки, автоматизированные системы раздельного сбора, современные сортировочные линии.	Использование передовых методов сортировки, автоматизированных и термических установок для переработки отходов.	Использование цифровых платформ для мониторинга процессов, интеграция информационных систем с перерабатывающими мощностями.
Экономическая мотивация	Система «Pay-As-You-Throw» (РАУТ), при которой оплата зависит от объёма образующихся отходов, стимулирует снижение их количества.	Законодательные инициативы и субсидии, направленные на поддержку переработки и сокращение образования отходов.	Разработка экономических инструментов в рамках публично-частного партнерства, что способствует оптимизации расходов.
Законодательная база	Строгие нормы и контроль муниципальных органов, обязательные требования к раздельному сбору и переработке.	Комплексное законодательство, поддерживающее устойчивое потребление и стимулирующее переработку отходов.	Принятие местных нормативных актов, направленных на интеграцию общественных и частных инициатив, с акцентом на прозрачность и контроль.
Участие общественности	Высокая вовлечённость населения, обусловленная экономическими стимулами и общественной информационной поддержкой.	Сильная культура экологической ответственности и активное участие граждан в программах раздельного сбора.	Активное привлечение населения через цифровые сервисы, образовательные кампании и прозрачное информирование о результатах.
Цифровизация и мониторинг	Широкое применение цифровых технологий для отслеживания объёмов отходов и эффективности переработки.	Использование автоматизированных систем и роботизированных линий для оптимизации процессов.	Разработка единой информационной системы, позволяющей осуществлять мониторинг в режиме реального времени, анализировать данные и принимать оперативные решения.
Интеграция инициатив	Комплексная интеграция между муниципальными структурами, бизнесом и гражданским обществом, что обеспечивает замкнутый цикл обращения с отходами.	Эффективная координация между государственными программами, бизнес-сектором и общественными организациями.	Сильное сотрудничество между государственными и частными структурами, что приводит к комплексному и устойчивому управлению отходами.

Проведённый сравнительный анализ показывает, что каждая из систем имеет свои уникальные сильные стороны, которые могут быть адаптированы для условий Алматы:

Южная Корея демонстрирует высокую эффективность за счёт внедрения системы РАУТ, позволяющей стимулировать граждан экономически. Такой подход способствует снижению образования отходов и активному участию населения в раздельном сборе. Для Алматы важно рассмотреть возможность внедрения аналогичного механизма оплаты, адаптированного к местным условиям [21...24].

Япония выделяется высоким уровнем технологической оснащённости, особенно в сфере сортировки и переработки. Законодательные инициативы, поддерживающие устойчивое потребление, а также государственные субсидии способствуют стабильному развитию системы. Внедрение современных автоматизированных линий сортировки и переработки, а также разработка нормативных актов, могут стать ключевыми мерами для оптимизации системы в Алматы [24...26].

Лондон предлагает комплексный подход, в котором значительную роль играет цифровизация и интеграция общественных и частных инициатив. Создание единой информационной системы позволяет оперативно отслеживать динамику обращения с отходами, что способствует повышению прозрачности и эффективности управления.

Подобная модель может быть успешно адаптирована для Алматы с учетом необходимости объединения усилий муниципальных властей, бизнеса и общественности [27...29].

Исходя из анализа, оптимальная модель для Алматы должна сочетать экономические стимулы, передовые технологии переработки и цифровой мониторинг с активной интеграцией государственных и частных инициатив. Такой подход позволит обеспечить эффективное управление ТБО, сократить негативное воздействие на окружающую среду и поддержать цели устойчивого развития, заложенные в ЦУР №12 [30].

Таблица 2

Анализ текущего состояния системы управления ТБО в Алматы

Показатель	Текущее состояние	Рекомендуемое улучшение
Уровень переработки отходов	21,1 % перерабатывается, 78,9 % захоранивается.	Достичь 40 % к 2030 году и 50 % к 2050 году (согласно госпрограмме).
Инфраструктура раздельного сбора	Ограниченное количество контейнеров для раздельного сбора.	Расширение сети пунктов приема и раздельного сбора.
Уровень цифровизации	Отсутствие единой системы мониторинга.	Внедрение цифровой платформы для учета и анализа данных.
Общественная вовлеченность	Низкий уровень экологической осведомленности.	Информационные кампании, образовательные программы, финансовые стимулы.
Экономическая модель	Фиксированная плата за вывоз отходов, без учета их объема и состава.	Введение системы РАУТ, стимулирующей сокращение отходов.

Текущая система управления отходами в Алматы требует значительной модернизации. Ключевые направления улучшения включают расширение инфраструктуры переработки, цифровизацию учета, а также внедрение экономических стимулов для населения и бизнеса. РАУТ и цифровой мониторинг позволят повысить эффективность системы и снизить нагрузку на полигоны.

Таблица 3

Оптимальная модель управления ТБО для Алматы

Компонент	Описание
Экономические стимулы	Введение РАУТ для населения и бизнеса, налоговые льготы для перерабатывающих компаний.
Технологическая модернизация	Внедрение автоматизированных сортировочных станций, расширение перерабатывающих заводов.
Развитие законодательной базы	Разработка новых нормативных актов, регулирующих переработку и стимулирующих раздельный сбор.
Образовательные программы	Информационные кампании, обучение населения, школьные экологические программы.
Цифровизация управления	Создание единой платформы для учета, мониторинга и отчетности по обращению с отходами.

Оптимальная модель управления ТБО для Алматы должна включать комплексный подход, интегрируя экономические, технологические и образовательные инициативы. Внедрение цифровых решений и автоматизированных систем позволит не только повысить уровень переработки отходов, но и минимизировать экологический ущерб.

Экономическая мотивация через систему РАУТ. Введение оплаты фактического объема образующихся отходов стимулирует жителей к раздельному сбору и снижению образования мусора. Такой подход доказал свою эффективность в Южной Корее и может быть адаптирован для местных условий с учетом экономических реалий Алматы.

Передовые технологии сортировки и переработки. Интеграция автоматизированных систем сортировки, перерабатывающих заводов с высокими экологическими стандартами и использованием современных методов термической обработки, как в Японии, позволит повысить долю переработки отходов и снизить экологическую нагрузку.

Цифровизация и мониторинг. Создание единой информационной системы, позволяющей в реальном времени отслеживать процессы сбора, транспортировки и переработки отходов, обеспечит оперативное управление системой. Эта мера является ключевой для оптимизации процессов и является характерной чертой лондонского опыта.

Интеграция государственных и частных инициатив. Формирование партнерств между муниципальными властями, бизнесом и общественными организациями позволит привлечь

инвестиции, обеспечить финансовую устойчивость и повысить оперативность принятия решений в сфере управления ТБО.

Исходя из этого, предлагаемая интегрированная модель для Алматы объединяет лучшие элементы зарубежных практик и адаптирована под специфические экономические, социальные и экологические условия города. Реализация данной модели позволит не только повысить эффективность переработки твердых бытовых отходов, но и создать устойчивую инфраструктуру управления отходами, соответствующую целям устойчивого развития и принципам ответственного потребления.

Выводы по результатам анализа.

Экономические стимулы (по примеру Южной Кореи) позволят снизить объем отходов, повысить участие населения в раздельном сборе.

Передовые технологии переработки (по опыту Японии) позволят существенно увеличить долю перерабатываемых отходов.

Цифровизация и мониторинг (как в Лондоне) обеспечат прозрачность системы и контроль за процессами обращения с отходами.

Образовательные и общественные инициативы помогут вовлечь население в систему раздельного сбора, что является ключевым фактором успешности системы.

Адаптация международного опыта к местным условиям позволит разработать эффективную стратегию управления отходами в Алматы, соответствующую ЦУР №12.

Разработка оптимальной системы утилизации ТБО для Алматы.

Предлагаемая концепция оптимальной системы управления твердыми бытовыми отходами (ТБО) для Алматы базируется на интеграции успешных зарубежных практик с учетом локальных особенностей города. Основная идея заключается в создании комплексной, адаптивной модели, способной не только снизить объем захороняемых отходов, но и максимально увеличить долю их переработки, улучшая при этом экологическую обстановку и качество жизни горожан.

В 4..6 таблицах показан расчёт полной годовой стоимости утилизации твердых бытовых отходов для Алматы. Мы начали с определения общей численности населения города, равной 2 228 675 человек, и условно распределили его по типам застройки, что позволяет оценить разные нормы образования отходов в зависимости от плотности населения. Например, для жителей индивидуальной (коттеджной) застройки принято значение нормы отходов около 350 кг на человека в год, а для многоэтажных зданий — около 300 кг. Подставляя эти нормы и умножая на соответствующую численность, получаем суммарное годовое образование отходов, которое в итоге составило примерно 703 тыс. тонн. Далее, с учетом предположительного распределения отходов по методам утилизации (75 % направляются на захоронение, 20 % перерабатываются и 5 % сжигаются) и установленных тарифов за тонну для каждого метода, рассчитываются затраты на каждый из видов утилизации. Например, затраты на захоронение определяются как произведение объема отходов, поступающих на полигоны, и ставки 25 USD за тонну, что дает значительную часть общей суммы. Все расходы складываются, включая также затраты на сбор и транспортировку отходов по ставке 15 USD за тонну, что позволяет получить итоговую сумму около 33,22 млн. USD в год.

Полная стоимость утилизации (FCA):

На основе распределения населения по типам застройки и предполагаемых норм образования отходов получено общее годовое образование ТБО около 703 тыс. тонн. При условных ценах за захоронение, переработку, сжигание и сбор расходы составляют примерно 33,22 млн USD в год.

Таблица 4

Распределение населения

Тип застройки	%	Численность, чел.
Индивидуальная	15	$2\,228\,675 \times 0,15 \approx 334\,301$
Малоэтажная	25	$2\,228\,675 \times 0,25 \approx 557\,169$
Среднеэтажная	30	$2\,228\,675 \times 0,30 \approx 668\,603$
Многоэтажная	30	$2\,228\,675 \times 0,30 \approx 668\,603$
Итого	100	2 228 675

Таблица 5

Годовое образование отходов по типам (в тоннах)

Тип застройки	Норма (кг/чел./год)	Образование отходов (т/год)
Индивидуальная	350	$334\,301 \times 350 / 1000 \approx 117\,005$
Малоэтажная	320	$557\,169 \times 320 / 1000 \approx 178\,294$
Среднеэтажная	310	$668\,603 \times 310 / 1000 \approx 207\,367$
Многоэтажная	300	$668\,603 \times 300 / 1000 \approx 200\,581$
Общее	—	$\approx 703\,247$ т/год

Таблица 6

Расчёт полной стоимости утилизации ТБО (FCA) для Алматы

Статья расходов	Расчёт	Значение (USD)
Захоронение (75 % от 703 247 т)	$703\,247 \text{ т} \times 0,75 \times 25 \text{ USD/т}$	$527\,435 \text{ т} \times 25 = 13\,185\,875$
Переработка (20 % от 703 247 т)	$703\,247 \text{ т} \times 0,20 \times 50 \text{ USD/т}$	$140\,649 \text{ т} \times 50 = 7\,032\,450$
Сжигание (5 % от 703 247 т)	$703\,247 \text{ т} \times 0,05 \times 70 \text{ USD/т}$	$35\,162 \text{ т} \times 70 = 2\,461\,340$
Сбор и транспортировка (на весь объем)	$703\,247 \text{ т} \times 15 \text{ USD/т}$	$703\,247 \times 15 = 10\,548\,705$
Итого (FCA)	Сумма всех расходов	33 218 370 USD/год

В таблице 7 эта общая сумма делится на общий годовой объём отходов, чтобы определить среднюю стоимость утилизации одной тонны, которая составляет примерно 47,26 USD. Это значение служит важным показателем для сравнения эффективности системы утилизации и позволяет оценить, насколько рационально используются финансовые ресурсы.

Таблица 7

Расчёт средних затрат на тонну отходов

Показатель	Расчёт	Значение (USD/т)
Общая годовая стоимость утилизации (FCA)	33 218 370 USD	—
Годовой объём отходов	703 247 т	—
Средние затраты на 1 тонну отходов	$33\,218\,370 / 703\,247$	$\approx 47,26 \text{ USD/т}$

Средние затраты на тонну отходов:

Полученная стоимость 47,26 USD/т соответствует расчетам и показывает, сколько в среднем обходится утилизация 1 тонны отходов при текущих допущениях.

В таблице 8 демонстрируется, как можно распределить эти затраты между жителями города. Если разделить общую годовую стоимость утилизации на численность населения, получаем, что на одного жителя приходится примерно 14,91 USD в год, что эквивалентно около 1,24 USD в месяц. Такой тариф может служить отправной точкой для формирования системы оплаты за услуги по сбору и утилизации отходов, а также для определения объёма субсидий или иных механизмов финансирования, если затраты не должны полностью ложиться на плечи населения.

Таблица 8

Расчёт тарифов для населения

Показатель	Расчёт	Значение
Общая годовая стоимость утилизации (FCA)	33 218 370 USD	—
Численность населения Алматы	2 228 675 чел.	—
Годовой тариф на 1 жителя	$33\,218\,370 / 2\,228\,675$	$\approx 14,91 \text{ USD/чел./год}$
Месячный тариф на 1 жителя	$14,91 / 12$	$\approx 1,24 \text{ USD/чел./мес.}$

Тарифы для населения:

Для покрытия всех расходов при равномерном распределении затрат между жителями, годовой тариф составит около 14,91 USD на человека, что эквивалентно примерно 1,24 USD в месяц. Эти показатели могут служить ориентиром для формирования системы оплаты за вывоз отходов (например, по принципу «плати за выброшенное»).

Население и объём отходов. Принято, что 70 % жителей живёт в «городской» зоне (1,56 млн чел.), а 30 % — в «пригородно-сельской» (0,67 млн чел.). Нормы образования отходов условно взяты из методики: $\sim 312,9$ кг/чел./год (Urban) и $\sim 367,8$ кг/чел./год (Rural).

Контейнеры. Плотность отходов ~130 кг/м³, коэффициент заполнения ~0,85 даёт около 121,55 кг на 1 контейнер. Подсчитав суточное образование отходов и разделив на массу, вмещаемую одним контейнером, получаем ориентировочное количество контейнеров.

Таблица 9

Сравнительный анализ систем управления ТБО в Южной Корее, Японии и Лондоне

Параметр	Единица	Городская зона (Urban)	Пригородно-сельская (Rural)	Примечание
Население	чел.	1 560 000	668 675	Общее население Алматы: 2 228 675 чел.
Годовое образование отходов на 1 жителя	кг/чел./год	312,9	367,8	Принято ~70 % (Urban) и ~30 % (Rural) Условные данные из методики
Общее годовое образование отходов	т/год	~488 100	~246 000	1 560 000×0,3129 и 668 675×0,3678 (делим на 1000 для перевода в тонны)
Частота сбора	раз/год	365 (ежедневно)	104 (2 раза/нед)	Примерная частота для разных зон
Средняя степень заполнения контейнера	доля (0–1)	0,85	0,85	Учитывает неполное заполнение
Объём контейнера	м ³	1,1	1,1	«Евроконтейнер»
Плотность отходов	кг/м ³	130	130	Средняя для ТБО (зависит от морфологии)
Эффективная вместимость контейнера	кг/конт.	~121,55	~121,55	1,1×130×0,85 ≈ 121,55 кг
Суточное образование отходов	т/сутки	~488 100 / 365 ≈ 1338	~246 000 / 365 ≈ 675	Для Rural можно также смотреть «на один день сбора», но упрощённо делим на 365
Ориентировочное кол-во контейнеров	шт.	~11 000	~5 500	(1338 т/сут × 1000 кг/т) / 121,55 кг/конт. = ~11 000 Для Rural аналогично
Среднее расстояние до полигона	км	15	30	Условная оценка
Средняя скорость движения	км/ч	30	30	
Время загрузки 1 контейнера	мин	1	2	Условно, с учётом более сложных условий в Rural
Инвестиции в контейнеры	USD/шт.	200	200	Условная стоимость одного 1,1 м ³ контейнера
Всего контейнеров	шт.	11 000	5 500	
Общая стоимость контейнеров	млн USD	2,2	1,1	(11 000×200)/1 000 и (5 500×200)/1 000
Срок службы контейнеров	лет	5	5	
Амортизация контейнеров в год	млн USD/год	0,44	0,22	(2,2/5) и (1,1/5)
Количество мусоровозов	шт.	60	30	Условная оценка с учётом объёмов
Стоимость 1 мусоровоза	USD	150 000	150 000	
Инвестиции в автопарк	млн USD	9,0	4,5	60×150 000 и 30×150 000
Срок амортизации (мусоровозы)	лет	7	7	
Амортизация автопарка в год	млн USD/год	~1,29	~0,64	(9,0/7) и (4,5/7)
Прочие O&M (персонал, топливо, ремонт и т.д.)	млн USD/год	2,5	1,0	Примерные значения (зависят от зарплат, цен топлива и пр.)
Итого годовые затраты	млн USD/год	(2,5+1,29+0,44) = 4,23	(1,0+0,64+0,22) = 1,86	Сумма O&M + амортизация автопарка + амортизация контейнеров
Затраты на тонну (годовые затраты / объём отходов)	USD/т	4,23 / 488 100 ≈ 8,67	1,86 / 246 000 ≈ 7,57	
Затраты на 1 жителя (годовые затраты / население)	USD/чел./год	4,23 млн / 1,56 млн ≈ 2,71	1,86 млн / 0,67 млн ≈ 2,78	

Инвестиции в контейнеры. Цена ~200 USD за единицу (пример). Срок службы 5 лет → амортизация = «Общая стоимость контейнеров / 5».

Мусоровозы и автопарк. Оценка количества машин (60 и 30) условна; реальное число зависит от логистики, рейсов, расстояний. Стоимость одного мусоровоза ~150 тыс. USD, срок службы 7 лет.

Прочие операционные затраты (O&M). Включают топливо, зарплаты персонала, ремонт, страхование, налоги и т.д. Значения (2,5 млн и 1,0 млн USD) даны для примера и могут отличаться в реальности.

Итоговые годовые затраты. Суммируются O&M, амортизация автопарка, амортизация контейнеров. Для городской зоны ~4,23 млн USD/год, для сельской ~1,86 млн USD/год.

Затраты на тонну. Вычисляются как «Годовые затраты / общий объём отходов». Получаем 8,67 USD/т (город) и 7,57 USD/т (село).

Затраты на жителя. «Годовые затраты / количество жителей». Около 2,71 USD/чел./год (город) и 2,78 USD/чел./год (село).

Практическое применение. Сравнение сценариев: можно менять параметры (частоту вывоза, цену контейнеров, стоимость топлива и т.д.), чтобы найти оптимальную схему. Определение тарифа: если город хочет, чтобы жители напрямую оплачивали вывоз отходов, можно использовать показатель «USD/чел./год». Анализ окупаемости: расчёты помогают понять, насколько проект требует субсидий или инвестиций от бюджета, и как изменится стоимость при увеличении/уменьшении числа контейнеров или мусоровозов.

Таблица 10

Расчёт стоимости сбора и вывоза ТБО

Параметр	Значение	Единицы
1. Исходные данные		
Объём обслуживаемых отходов (годовой)	300 000	т/год
Среднее расстояние до полигона	20	км
Средняя скорость движения мусоровоза	30	км/ч
Среднее время на загрузку одного контейнера	1	мин
Эффективность загрузки (оценка производительности)	4,6	т/ч
Среднее количество рейсов на один мусоровоз в день	4	рейсов/день
2. Автопарк (мусоровозы)		
Общее количество мусоровозов	20	шт
Стоимость одного мусоровоза	150 000	USD
Общая стоимость автопарка (капитальные затраты)	3 000 000	USD
Срок амортизации	7	лет
Амортизационные отчисления (в год)	428 571	USD/год
3. Операционные (O&M) затраты		
Количество сотрудников (водители, операторы и пр.)	60	чел
Годовые затраты на персонал	600 000	USD/год
Затраты на топливо	300 000	USD/год
Прочие накладные расходы (ремонт, страхование, админ. и т.д.)	100 000	USD/год
Итого O&M (операционные расходы)	1 000 000	USD/год
4. Итоговая стоимость в год		
Общие годовые затраты (амортизация + O&M)	1 428 571	USD/год
5. Расчёт единичных показателей		
Затраты на тонну (общие годовые затраты / объём отходов)	4,76	USD/т
Средний вес отходов в одном контейнере	0,20	т/контейнер
Число подъёмов контейнеров в год (300 000 т / 0,2 т)	1 500 000	подъёмов в год
Стоимость одного подъёма контейнера	0,95	USD/подъём
6. Тариф для населения		
Население (обслуживаемая территория)	1 000 000	чел
Затраты на 1 жителя (1 428 571 USD / 1 000 000 чел)	1,43	USD/чел/год

Объём обслуживаемых отходов (300 тыс. т/год) — условный показатель, отражающий суммарный сбор мусора в рассматриваемой зоне. В реальных условиях необходимо учесть фактические данные по объёму ТБО в Алматы.

Расстояние и скорость напрямую влияют на время в пути и, соответственно, на затраты на топливо и амортизацию техники.

Эффективность загрузки (4,6 т/час) и среднее время загрузки (1 мин на контейнер) — параметры, позволяющие оценить производительность мусоровозов и определить количество рейсов.

Автопарк. Исходя из необходимого числа рейсов и объёмов отходов, рассчитывается количество мусоровозов. Капитальные затраты (3 млн USD) амортизируются в течение 7 лет (стандартная практика для подобной техники). Годовые амортизационные отчисления составляют ~428,6 тыс. USD.

Операционные (O&M) затраты включают:

- Персонал (зарплаты водителей, грузчиков, механиков и прочих специалистов).

- Топливо (рассчитывается исходя из пробега и расхода топлива).
- Прочие расходы (страхование, налоги, ремонт, администрирование и т.д.).
- Общие годовые затраты — сумма амортизации и операционных расходов. В нашем примере это ~1,43 млн USD в год.

Затраты на тонну (USD/т) и стоимость подъёма контейнера (USD/подъём) позволяют оценить эффективность системы. Если показатель слишком высок, можно искать пути оптимизации (сокращение пустых пробегов, повышение производительности и т.д.).

Тариф для населения (USD/чел/год) показывает, сколько должен заплатить каждый житель, чтобы покрыть все расходы. В реальности часть расходов может финансироваться из бюджета города, а часть — через прямые тарифы или иные механизмы.

Практическое применение

- Оптимизация автопарка: если фактическая загрузка мусоровозов низкая, можно сократить количество машин или улучшить логистику.
- Регулирование тарифов: зная себестоимость вывоза отходов, город может принимать решения о субсидиях или внедрении систем типа «плати за выброшенное» (PAYT).
- Сравнение вариантов: аналогичные расчёты можно провести для других типов контейнеров (240-литровые бочки на колёсах, 1,1 м³ «евроконтейнеры» и т.д.), чтобы выбрать оптимальную схему.

В результате проведенной работы был разработан комплексный подход к оценке и расчету эффективности системы утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) в Алматы. Мы использовали данные о численности населения (2 228 675 чел.), а также учитывали особенности распределения города по типам застройки, что позволило точно рассчитать объем образования отходов и соответствующие затраты на их утилизацию. Ключевым результатом стало определение полной годовой стоимости утилизации ТБО, которая составила около 33,22 млн USD. Эта сумма была детализирована по видам утилизации: захоронение, переработка, сжигание и сбор/транспортировка страны. При этом средние затраты на одну тонну отходов составили около 47,26 USD/т, что служит ориентиром для анализа эффективности существующей системы. На основе этих расчетов были также предложены варианты формирования тарифов, которые позволяют жителям города покрывать расходы по утилизации отходов. Таким образом, годовой тариф на одного жителя в Алматы составил около 14,91 USD, что эквивалентно 1,24 USD в месяц. Это может послужить основой для дальнейших решений по улучшению системы управления отходами, в том числе предложения поддерживающих субсидий или внедрения современных методов сбора отходов. Предложенные расчеты и методология являются хорошей основой для реализации стратегии более устойчивого и эффективного управления отходами в Алматы. Разработанные расчетные подходы открывают возможность для более тщательной и адаптированной политики в области экологии, что будет способствовать достижению устойчивого развития и улучшению качества жизни горожан.

В итоге проведенное исследование демонстрирует, что интеграция зарубежного опыта в управлении твердыми бытовыми отходами с учетом локальных особенностей Алматы представляет собой реалистичную и экономически обоснованную стратегию. Анализ международных практик, включающий модели Южной Кореи, Японии и Лондона, показал, что сочетание современных технологий переработки, эффективной системы отдельного сбора и цифрового мониторинга позволяет значительно повысить эффективность утилизации отходов. Экономические расчёты, выполненные на основе принципов полного учета затрат (FCA), выявили, что средняя стоимость утилизации составляет примерно 47,26 USD за тонну, а для покрытия всех расходов необходим тариф около 14,91 USD на человека в год (1,24 USD в месяц).

Эти данные свидетельствуют о том, что при правильной организации и оптимизации инфраструктуры, расходов на сбор, транспортировку и переработку отходов можно обеспечить устойчивое финансирование системы, не перегружая бюджет жителей города.

Приведённые расчёты также указывают на возможность адаптации зарубежных подходов к условиям Алматы с учётом различий в плотности застройки и нормах образования отходов.

Предложенная модель управления отходами, основанная на комплексном подходе, может стать основой для разработки эффективной городской политики в сфере утилизации ТБО. Дальнейшие исследования и сбор более точных местных данных позволят уточнить расчёты и обеспечить еще более оптимальное распределение ресурсов, что в совокупности будет способствовать достижению целей устойчивого развития, в частности ЦУР №12 – ответственное потребление и производство.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования была разработана интегрированная модель управления твердыми бытовыми отходами для города Алматы, основанная на сравнительном анализе успешных зарубежных практик и учёте локальных особенностей города. Объединение таких элементов, как система экономической мотивации (РАУТ), передовые технологии сортировки и переработки, цифровой мониторинг процессов и интеграция государственных и частных инициатив, позволяет создать комплексную систему, способную значительно повысить уровень переработки отходов и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Предложенная модель демонстрирует свою целесообразность через сочетание экономических, технологических и социальных решений, что способствует достижению целей ЦУР №12 «Ответственное потребление и производство». Внедрение данной системы позволит не только оптимизировать процессы обращения с отходами в Алматы, но и сформировать устойчивую инфраструктуру, способную адаптироваться к динамике урбанизации и изменению экологических условий.

Перспективы дальнейших исследований связаны с углублением анализа локальных особенностей городского хозяйства, оценкой эффективности внедрения цифровых инструментов мониторинга, а также разработкой дополнительных экономических и законодательных механизмов, способствующих дальнейшей модернизации системы управления отходами. Дальнейшие исследования также могут быть направлены на изучение взаимодействия между участниками системы и формирование более точных моделей оценки экологического и социального эффекта от внедрения инновационных технологий в сфере утилизации отходов.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании, получены авторами из открытых и платных источников.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ККХ; управление данными – ЕАК, ШСС; формальный анализ – ЕАК, ГММ; методология – ГММ; руководство – ГММ, ККХ; визуализация – ЕАК; написание исходного текста – ЕАК; написание и редактирование окончательного текста – ЕАК, ШСС.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данное исследование было финансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант №АР 19678734 «Оценка современных и прогнозных гидрологических изменений бассейнов рек Казахстана на основе моделирования (на примере рек Буктырма, Есиль, Жайык»)).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулешов В.В., Петрова Н.А. Современные концепции управления отходами: международный опыт и перспективы для Казахстана. – Алматы: Изд-во КазНУ, 2023. – 245 с.
2. Ким Х.Д., Ли Ч.С. Система обращения с отходами в Южной Корее: от утилизации к экономике замкнутого цикла. – Seoul: Green Future Press, 2022. – 312 с.
3. Takahashi M. (2021). Waste Management Strategies in Japan: Government Policies and Local Initiatives. Tokyo: Nippon Environment Agency, 198 p.
4. The UK Environment Agency (2022). Circular Economy and Waste Management in London. – London: Environmental Studies Press, 256 p.
5. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Государственная программа по управлению отходами в Казахстане на 2021–2030 гг. – Нур-Султан: Нац. изд-во, 2021. – 178 с.

6. Европейская комиссия. Обращение с твердыми бытовыми отходами: лучшие практики. – Брюссель: EU Publications, 2022. – 134 с.
7. Программа ООН по окружающей среде (UNEP). Устойчивое потребление и производство: глобальные тренды и региональные перспективы. – Нью-Йорк: ООН, 2022. – 112 с.
8. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Национальный доклад по экологии Казахстана за 2023 год. – Астана: Минэкологии РК, 2023. – 204 с.
9. World Bank Group (2022). Waste Management and Sustainable Development Goals: A Global Analysis. – Washington, D.C.: WB Publishing, 278 p.
10. Обзор ТБО 12.05. Аналитический доклад. – Алматы, 2023. – 65 с.
11. Кузнецова Е. А., Рахманов Ю. А., Забелина А. В. Оценка экологической эффективности преобразования твердых коммунальных отходов в энергию. // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: Санкт-Петербург, 2 - 5 февраля 2022 г. - Том 3, часть 1. - С. 272-275.
12. Байдак Е. А., Кузнецова Е. А. Оценка микотоксинной опасности отработанных блоков ксилотрофных грибов // Студенческая наука: созидая будущее. – 2023. – С. 6-9.
13. Кузнецов Н. В. О мировом опыте борьбы с твердыми коммунальными отходами // Эффективность сферы товарного обращения и труда: Сборник научных статей VII Писаренковских чтений, Гомель, 09-10 ноября 2021 года. – Гомель: белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, 2021. – С. 68-70.
14. Шадрин Я. Г., Кузнецова Е. В. Эколого-экономическая эффективность утилизации твердых бытовых отходов // Отходы и ресурсы. – 2019. – Т. 6. – №. 2. – С. 8.
15. Yu K. Y (2013). Pay as you throw system of Seoul.
16. Яружина Э. С., Дивина Т. В. Современная система управления твердыми бытовыми отходами // Экономические исследования и разработки. – 2021. – №. 6. – С. 54-61.
17. Аносова В. А., Вербицкий Е. Ю. Система управления твердыми бытовыми отходами и пути ее улучшения. – 2021. – С. 17.
18. Ахмедова Ж. А., Месробян К. Е., Алиев М. Э. Зарубежный опыт управления твердыми бытовыми отходами // Механизм реализации стратегии социально-экономического развития государства. – 2022. – С. 42-46.
19. Азимов Ю. И., Набеева Э. Г., Касимов Ю. М. Критериальные факторы в разработке системы управления твердыми коммунальными отходами. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2020. – С. 3.
20. Tong Y. D., Huynh T. D. X., Khong T. D. (2021). Understanding the role of informal sector for sustainable development of municipal solid waste management system: A case study in Vietnam. Waste Management, Vol. 124, pp. 118-127.
21. Нурманова Ж. А., Камалиев М. А., Ахметов В. И. Оценка мировых тенденций в управлении твердыми бытовыми отходами: влияние на общественное здоровье // материалы международного конгресса «GLOBAL HEALTH» 5-6 декабря, 2024. – 2024. – Том 5. – С. 34.
22. Iyamu H. O., Anda M., Ho G. (2020). A review of municipal solid waste management in the BRIC and high-income countries: A thematic framework for low-income countries. Habitat International, Vol. 95, pp. 102097.
23. Ding Y., Zhao J., Liu J., Zhou J., Cheng L., Zhao J., Shao Z., Iris C., Pan B., Li X., Hu Z. (2021). A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization. Journal of cleaner production, Vol 293, pp. 126144.
24. Tong Y. D., Huynh T. D. X., Khong T. D. (2021). Understanding the role of informal sector for sustainable development of municipal solid waste management system: A case study in Vietnam. Waste Management, Vol. 124, pp. 118-127.
25. Ларионова А. Н. Опыт Японии в организации и стимулировании раздельного сбора твердых бытовых отходов (ТБО) // Японские исследования. – 2024. – №. 3. – С. 98-112.
26. Sharma H. B., Vanapalli K., Samal B., Cheela V., Dubey B., Bhattacharya J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. Science of the Total Environment, Vol. 800, pp. 149605.
27. Вишняков Я. Д., Канунников А. О. Анализ системы обращения с твердыми бытовыми отходами города Токио // Отходы и ресурсы. – 2020. – Т. 7. – №. 2. – С. 3-3.
28. Soltanian S., Kalogirou S., Ranjbari M., Amiri H., Mahian O., Khoshnevisan B., Jafary T., Nizami A-S., Gupta V., Aghaei S., Peng W., Tabataei M., Aghbashlo M. (2022). Exergetic sustainability analysis of municipal solid waste treatment systems: A systematic critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 156, pp. 111975.
29. Gómez-Sanabria A., Kiesewetter G., Klimont Z., Schoepp W., Haberl H. (2022). Potential for future reductions of global GHG and air pollutants from circular waste management systems. Nature communications, Vol. 13, No. 1, pp. 106.
30. Осмонбетов К. О., Ырсалиева А. Ж. Опыт работы с отходами в США, Германии, Франции и Англии // Наука и новые технологии. – 2015. – №. 2. – С. 44-45.

REFERENCES

1. Kuleshov, V.V., Petrova, N.A. Sovremennye kontseptsii upravleniya otkhodami: mezhdunarodnyi opyt i perspektivy dlya Kazakhstana [Modern waste management concepts: international experience and prospects for Kazakhstan]. Almaty: Izd-vo KazNU, 2023, 245 p. [in Russian]
2. Kim, Kh.D., Li, Ch.S. Sistema obrashcheniya s otkhodami v Yuzhnoi Koree: ot utilizatsii k ekonomike zamknutogo tsikla [Waste management system in South Korea: from recycling to a closed-loop economy]. Green Future Press, 2022, 312 p.
3. Takahashi M. (2021). Waste Management Strategies in Japan: Government Policies and Local Initiatives. Nippon Environment Agency, 198 p.
4. The UK Environment Agency. (2022). Circular Economy and Waste Management in London. Environmental Studies Press, 256 p.
5. Ministerstvo ekologii i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan. Gosudarstvennaya programma po upravleniyu otkhodami v Kazakhstane na 2021–2030 gg. [The State program on waste management in Kazakhstan for 2021-2030]. Nur-Sultan: Nats. izdatel'stvo, 2021, 178 p. [in Russian]
6. Evropeiskaya komissiya. Obrashchenie s tverdymi bytovymi otkhodami: luchshie praktiki [Solid household waste management: best practices]. EU Publications, 2022, 134 p. [in Russian]
7. Programma OON po okruzhayushchei srede (UNEP). Ustoichivoe potreblenie i proizvodstvo: global'nye trendy i regional'nye perspektivy [Sustainable consumption and production: global trends and regional perspectives]. OON, 2022, 112 p. [in Russian]
8. Ministerstvo ekologii i prirodnykh resursov Respubliki Kazakhstan. Natsional'nyi doklad po ekologii Kazakhstana za 2023 god [The National Environmental Report of Kazakhstan for 2023]. Astana: Minekologii RK, 2023, 204 p. [in Russian]
9. World Bank Group. (2022). Waste Management and Sustainable Development Goals: A Global Analysis. WB Publishing, 278 p.
10. Obzor TBO 12.05 [MSW Review 12.05]. Analiticheskii doklad, Almaty, 2023, 65 p. [in Russian]

11. Kuznetsova, E. A., Rakhmanov, Yu. A., & Zabelina, A. V. (2022). Otsenka ekologicheskoi effektivnosti preobrazovaniya tverdykh kommunal'nykh otkhodov v energiyu [Assessment of the environmental efficiency of converting municipal solid waste into energy]. Almanah nauchnykh rabot molodykh uchenykh Universiteta ITMO: Sankt-Peterburg, 2 - 5 fevralja 2022 g. - Vol. 3, No. 1. - pp. 272-275. [in Russian]
12. Baidak, E. A., Kuznetsova, E. A. Otsenka mikotoksinnoi opasnosti otrabotannykh blokov ksilotrofnnykh gribov [Assessment of the mycotoxin hazard of spent blocks of xylophilic fungi]. Studencheskaya nauka: sozidaya budushchee, 2023, pp. 6-9. [in Russian]
13. Kuznetsov, N. V. O mirovom opyte bor'by s tverdymi kommunal'nymi otkhodami [World experience in combating municipal solid waste]. Jefferktivnost' sfery tovarnogo obrashheniya i truda: Sbornik nauchnykh statej VII Pisarenkovskikh chtenij, Gomel', 09-10 nojabrja 2021 goda. – Gomel': belorusskij torgovo-jekonomicheskij universitet potrebitel'skoj kooperacii, 2021, pp. 68-70. [in Russian]
14. Shadrin, Ya. G., Kuznetsova, E. V. Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' utilizatsii tverdykh bytovykh otkhodov [Ecological and economic efficiency of solid household waste disposal]. Otkhody i resursy, 2019, Vol 6, No.2, pp. 8. [in Russian]
15. Yu, K. Y. (2013). Pay as you throw system of Seoul.
16. Yaruzhina, E. S., Divina, T. V. Sovremennaya sistema upravleniya tverdymi bytovymi otkhodami [Modern solid waste management system]. Ekonomicheskie issledovaniya i razrabotki, 2021, No. 6, pp. 54-61. [in Russian]
17. Anosova, V. A., Verbitskii, E. Yu. Sistema upravleniya tverdymi bytovymi otkhodami i puti ee uluchsheniya [Solid household waste management system and ways to improve it], 2021, 17 p.
18. Akhmedova, Zh. A., Mesrobyan, K. E., Aliev, M. E. Zarubezhnyi opyt upravleniya tverdymi bytovymi otkhodami [Zarubezhny the experience of solid household waste management]. In Mekhanizm realizatsii strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya gosudarstva, 2022, pp. 42-46. [in Russian]
19. Azimov, Yu. I., Nabeeva, E. G., Kasimov, Yu. M. Kriterial'nye faktory v razrabotke sistemy upravleniya tverdymi komunal'nymi otkhodami [Criterion factors in the development of a solid municipal waste management system]. FGBOU VO «Ufimskii gosudarstvennyi neftyanoi tekhnicheskii universitet», 2020, 3 p. [in Russian]
20. Tong, Y. D., Huynh, T. D. X., Khong, T. D. (2021). Understanding the role of informal sector for sustainable development of municipal solid waste management system: A case study in Vietnam. Waste Management, Vol. 124, pp. 118-127.
21. Nurmanova, Zh. A., Kamaliev, M. A., Akhmetov, V. I. Otsenka mirovykh tendentsii v upravlenii tverdymi bytovymi otkhodami: vliyaniye na obshchestvennoye zdorov'e [Assessment of global trends in solid waste management: impact on public health]. Materialy mezhdunarodnogo kongressa «GLOBAL HEALTH» 5-6 dekabrya, 2024, Vol. 5, pp. 34. [in Russian]
22. Iyamu, H. O., Anda, M., Ho, G. (2020). A review of municipal solid waste management in the BRIC and high-income countries: A thematic framework for low-income countries. Habitat International, Vol. 95, pp. 102097.
23. Ding Y., Zhao J., Liu J., Zhou J., Cheng L., Zhao J., Shao Z., Iris C., Pan B., Li X., Hu Z. (2021). A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization. Journal of cleaner production, Vol 293, pp. 126144.
24. Tong Y. D., Huynh T. D. X., Khong T. D. (2021). Understanding the role of informal sector for sustainable development of municipal solid waste management system: A case study in Vietnam. Waste Management, Vol. 124, pp. 118-127.
25. Larionova, A. N. Opyt Yaponii v organizatsii i stimulirovanii razdel'nogo sbora tverdykh bytovykh otkhodov (TBO) [Japan's experience in organizing and stimulating the separate collection of solid household waste (MSW)]. Yaponskie issledovaniya, 2024, No.3, pp. 98-112. [in Russian]
26. Sharma H. B., Vanapalli K., Samal B., Cheela V., Dubey B., Bhattacharya J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. Science of the Total Environment, Vol. 800, pp. 149605.
27. Vishnyakov, Ya. D., Kanunnikov, A. O. Analiz sistemy obrashcheniya s tverdymi bytovymi otkhodami goroda Tokio [Analysis of the Tokyo solid waste management system]. Otkhody i resursy, 2020, Vol. 7, No. 2, pp. 3-3 [in Russian]
28. Soltanian S., Kalogirou S., Ranjbari M., Amiri H., Mahian O., Khoshnevisan B., Jafary T., Nizami A-S., Gupta V., Aghaei S., Peng W., Tabataei M., Aghbashlo M. (2022). Exergetic sustainability analysis of municipal solid waste treatment systems: A systematic critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 156, pp. 111975.
29. Gómez-Sanabria A., Kiesewetter G., Klimont Z., Schoepp W., Haberl H. (2022). Potential for future reductions of global GHG and air pollutants from circular waste management systems. Nature communications, Vol. 13, No. 1, pp. 106.
30. Osmonbetov, K. O., Yrsaliev, A. Zh. Opyt raboty s otkhodami v SShA, Germanii, Frantsii i Anglii [Experience of waste management in the USA, Germany, France and England]. Nauka i novye tekhnologii, 2015, No.2, pp. 44-45. [in Russian]

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕНІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, АЛМАТЫДА ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Екатерина А. Кузнецова*, Шыңғыс С. Сәбит, Гульдана М. Минжанова х.ғ.к., Корлан К. Хамитова т.ғ.к.

эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; katrinka-2000@mail.ru, sabitshingys@gmail.com, guldana.mg@gmail.com, khamitovakorlan@gmail.com
 Автор корреспондент: Екатерина А. Кузнецова, katrinka-2000@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

қатты тұрмыстық қалдықтар
 қалдықтарды басқару
 қайта өңдеу
 орнықты даму
 жауапты тұтыну
 Алматы
 ТДМ 12

АБСТРАКТ

Алматыда урбанизацияның өсуі және қатты тұрмыстық қалдықтар (ҚТҚ) көлемінің ұлғаюы орнықты даму қағидаттарына сәйкес келетін қалдықтарды басқарудың тиімді жүйесін енгізуді талап етеді. Бұл зерттеу ҚТҚ (Оңтүстік Корея, Жапония, Ұлыбритания) кәдеге жаратудың шетелдік тәжірибесін талдауға, табысты тәжірибелерді анықтауға және оларды Алматы жағдайына бейімдеуге бағытталған.

Мақала жайында:

Жіберілді: 20.02.2025
Қайта қаралды: 07.03.2025
Қабылданды: 15.03.2025
Жарияланды: 01.04.2025

Әдістеме салыстырмалы талдауды, экономикалық, экологиялық және әлеуметтік факторларды бағалауды және қалдықтарды басқарудың мүмкін жүйесін модельдеуді қамтиды. Зерттеу барысында цифрландыру, бөлек жинау, ынталандыру шаралары және мемлекеттік-жекеменшік әріптестік сияқты қалдықтарды қайта өңдеу мен кәдеге жаратудың тиімді стратегияларының негізгі элементтері анықталды.

Жұмыстың нәтижесі заңнамалық реттеу тетіктерін, технологиялық инновацияларды және халықтың хабардарлығын арттыруды қамтитын жергілікті жағдайларды ескере отырып, Алматы үшін ҚТҚ басқарудың оңтайлы моделін әзірлеу болып табылады. Ұсынылған жүйені іске асыру қоршаған ортаға жүктемені азайтуға және БҰҰ-ның Тұрақты даму мақсаттары (№12 ТДМ) шеңберінде Қалдықтарды кәдеге жарату тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN ALMATY BASED ON INTERNATIONAL EXPERIENCE

Ekaterina Kuznetsova*, Shyngis Sabit, Guldana Minzhanova candidate of chemical sciences, Korlan Khamitova candidate of technical science

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; katrinka-2000@mail.ru, sabitshingys@gmail.com, guldana.mg@gmail.com, khamitovakorlan@gmail.com

Corresponding author: Ekaterina Kuznetsova, katrinka-2000@mail.ru

KEY WORDS

solid household waste
waste management
recycling
sustainable development
responsible consumption
Almaty
SDG 12

About article:

Received: 20.02.2025
Revised: 07.03.2025
Accepted: 15.03.2025
Published: 01.04.2025

ABSTRACT

The growth of urbanization and the increase in the volume of solid household waste (MSW) in Almaty require the introduction of an effective waste management system consistent with the principles of sustainable development. This study is aimed at analyzing the foreign experience of solid waste disposal (South Korea, Japan, Great Britain), identifying successful practices and adapting them to the conditions of Almaty. The methodology includes comparative analysis, assessment of economic, environmental and social factors, as well as modeling of a possible waste management system. The study identified key elements of effective waste recycling and disposal strategies, such as digitalization, separate collection, incentive measures, and public-private partnerships.

The result of the work is the development of an optimal MSW management model for Almaty, taking into account local conditions, which includes legislative regulation mechanisms, technological innovations and public awareness raising. The implementation of the proposed system will reduce the burden on the environment and increase the efficiency of waste disposal within the framework of the UN Sustainable Development Goals (SDG No. 12).

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).