DOI 10.15826/vestnik.2025.24.4.044 Original Paper

УДК 332.1, 330.15, 336, 338

Эколого-экономическая оценка обращения с твердыми коммунальными отходами на примере крупных городов России

М. Р. Чащин ✉, *Е. Р. Магарил*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

✉ *f123503@yandex.ru*

Аннотация. Повышение эффективности управленческих решений в отрасли обращения с отходами невозможно без оценки ее эффективности, учитывающей не только экономические аспекты, но и воздействие на окружающую среду. Недостаточная разработанность комплексных подходов к оценке обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), учитывающих экологические и экономические аспекты, важность таких подходов при переходе к принципам экономики замкнутого цикла определяет актуальность исследований, направленных на решение задач эколого-экономической оценки обращения с ТКО. Целью исследования является совершенствование методического инструментария эколого-экономической оценки обращения с ТКО и его апробация. Исследование базируется на гипотезе о применимости подходов экономической оборачиваемости для анализа циклов обращения с ТКО, что позволит выявить их взаимосвязь с общехозяйственными циклами, повысить эффективность управления. Для проверки гипотезы использован анализ панельных данных деятельности предприятий и региональных операторов ТКО, а также сведений Государственных докладов о состоянии окружающей среды. Предложен и апробирован на примере крупных городов России методический подход к эколого-экономической оценке обращения с ТКО, включающий предложенные авторами корректирующие отраслевые показатели природоемкости: углеродоемкость и водоемкость жизненного цикла отходов, а также показатель результативности обращения с ТКО. Выявлена положительная корреляция между циклами обращения с ТКО и общими хозяйственными циклами. Рассчитаны медианные значения ключевых эколого-экономических показателей деятельности региональных операторов для сравнительного анализа. Обоснованы рекомендации по применению мер экономического стимулирования, основанных на гибком использовании корректирующих показателей для повышения эколого-экономической эффективности деятельности субъектов отрасли. Полученные результаты позволяют проводить эколого-экономическую оценку обращения с ТКО с учетом значимых для отрасли показателей природоемкости, что особенно важно в контексте перехода к экономике замкнутого цикла, позволяют выявить проблемные этапы цикла обращения, обосновать стимулирующие меры, формируют основу для совершенствования управления обращением с ТКО.

Ключевые слова: циркулярная экономика; биржа отходов; устойчивое развитие; обращение с твердыми коммунальными отходами; ESG-индикаторы.

1. Введение

В разных странах мира с учетом ежегодного увеличения накопления твердых коммунальных отходов (ТКО) и соответствующего повышения значимости перехода к принципам циркулярной экономики подходы к обращению с отходами, учитывающие как экологические, так и экономические аспекты эффективности отрасли, становятся все более востребованными со стороны организаций и органов управления [1]. Такие подходы позволяют раскрыть потенциальные риски, учет которых важен при принятии управленческих решений в условиях развития экономики замкнутого цикла[1].

Анализ обращения с ТКО в России и других странах приведен в табл. 1. Для сопоставления возможностей стран в части управления ТКО целесообразным является сравнение потенциальных производственных мощностей по переработке отходов. Приведенные данные показывают, что в России 32 завода и 13 полигонов (мощность от 4 050 тыс. т/г., из них 10 486 млн т/г. приходятся на объекты по размещению ТКО), и, в сравнении с другими странами, отрасль находится в процессе своего становления. В РФ в соответствии с рейтингом публично-правовой компании «Российский экологический оператор» (ППК «РЭО») лидерами в сфере обращения с ТКО являются Москва и Нижний Новгород[2]. Согласно данным государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды России», в Москве наибольшая доля утилизации ТКО по отношению к их образованию (в среднем 17 %), наблюдается уменьшение количества захороненных отходов. В числе регионов-лидеров также Нижегородская область, где в среднем перерабатывают около 6 % от объема образуемых ТКО.

Критическая ситуация наблюдается в Челябинской области. Здесь объем захороненных ТКО превышает объем образуемых отходов. Тревожные данные также выявлены по Пермскому краю (объем захоронения ТКО 97 %), Свердловской области (95 %), Тюменской области (98 %).

Для решения проблем в области обращения с отходами требуется проведение комплексных мероприятий, однако в настоящее время оценка деятельности организаций проводится без учета экологической составляющей, что является одним из факторов, препятствующих их реализации. В связи с этим актуальным является совершенствование подходов к оценке управления ТКО с учетом как экономических аспектов, так и влияния на состояние окружающей среды и использование природных ресурсов.

Исследовательские вопросы:

1. В каком экономическом состоянии находятся организации в сфере обращения с ТКО в крупных городах России?
2. Существует ли корреляция экологических и экономических показателей деятельности организаций сферы ТКО?

---

[1] Ellen MacArthur Foundation, Intesa Sanpaolo En Umbrella on pink background news New research shows that the circular economy has a de-risking effect and drives superior risk-adjusted returns / C. Zara, E. Healy, M. Tellini, L. Gravis et al. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/new-research-shows-that-the-circular-economy-has-a-de-risking-effect-and (дата обращения: 05.06.2024).

[2] РЭО назвал топ-20 регионов в сфере обращения с отходами. URL: https://reo.ru/tpost/493juxcg31-reo-nazval-20-luchshih-regionov-v-sfere (дата обращения: 21.09.2024)

Таблица 1. **Обращение с ТКО в России, ЕС, США, Китае**

Table 1. **MSW management in Russia, EU, USA, China**

Показатели	Европейский союз				Китай				США[1] (2019–2021 гг.= Q чел. · среднее образование ТКО на 1 чел. (2015–2018 гг.)							Россия[2]			
Статус обращения с ТКО, млн т:	2019	2020	2021	2024	2019	2020	2021	2023	2015	2017	2018	2019	2020	2021	2024	2019	2020	2021	2024
– Образование	223	231	236	251	242 [3]	235 [4]	244	239	237	243	265	70	72	76	83	58	48	48	48
– Обработка	217	220604	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	18	22	—
– Утилизация и обезвреживание	58499	58619	—	—	—	49 (в 2018 г., 21 %)	—	—	67	67	69	—	—	6	—	2	3	6	—
– Обезвреживание	103601	112315	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	2,6	—
– Захоронение	55373	55486	—	—		141	112 (46 %) [2]		137610[3]	140470	146120	—	—	—	—	51	36	44	—

[1] OECED Data Explorer. URL: https://data-explorer.oecd.org/vis?df[ds]=DisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_MUNW%40DF_MUNW&df[ag]=OECD.ENV.EPI&dq=.A.MUNICIPAL.KG_PS%2BT&pd=2015 %2C2022&to[TIME_PERIOD]=false&vw=tb (дата обращения: 21.09.2024).

[2] Данные Государственных докладов о состоянии окружающей среды. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/ (дата обращения: 21.09.2024).

[3] EPA USA: National overview: facts and figures on materials, wastes and recycling. URL:https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#NationalPicture (дата обращения: 21.09.2024).

Окончание табл. 1

Показатели	Европейский союз				Китай				США[1] (2019–2021 гг.= Q чел. · среднее образование ТКО на 1 чел. (2015–2018 гг.)							Россия[2]			
Население, млн чел.[1]	446	447	446	449	1 407	1 411	1 412	1 409	327	329	332	334	335	336	341[2]	147	147	147	146
ТКО на 1 чел. образование т/чел	0,50	0,52	0,53	0,56	0,17	0,17	0,17	0,17	0,73	0,74	0,80	0,81	0,81	0,82	0,83	0,4	0,33	0,33	0,33
Число заводов ТКО [3]	—	—	527	—	—	—	127	—	—	—	—	—	—	77	—	26	21	35	32[3]
Общая мощность, тыс. т/г. [3]	—	—	103 000	—	—	—	61 000	—	—	—	—	—	—	30 000	—	832	3 904	356	4 050
Средняя мощность т/г.	—	—	195	—	—	—	480	—	—		—	—	—	390	—	32	186	10	127

[1] Eurostat Data Browser: Population change — Demographic balance and crude rates at national level. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DEMO_GIND__custom_3012667/bookmark/bar?lang=en&bookmarkId=b5150729-70b7-4d06-aaa1-c17e70f2e809 (дата обращения: 21.09.2024).

[2] Population pyramid USA. URL: https://www.populationpyramid.net/ru/%D1%81%D0%BE%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D1%91%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D1%88%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8B-%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B8/2024/ (date of access 21.09.2024)

[3] 7,5 млн тонн мощностей по утилизации и обезвреживанию ТКО ввели за 6 лет реформы // Портал ППК РЭО. URL: https://reo.ru/tpost/efilk-89fc1-75-mln-tonn-moschnostei-po-utilizatsii-i (дата обращения: 04.02.2024).

3. Какие основные экологические и экономические подходы к оценке деятельности организаций в сфере ТКО могут быть применимы крупных городах России?

Целью исследования является совершенствование методического инструментария эколого-экономической оценки обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) и его апробация на примере крупных городов России.

Гипотезой исследования является возможность использования подходов экономической оборачиваемости к расчету циклов обращения с ТКО.

Структура статьи. В разделе «Степень изученности проблемы» структурированы подходы к эколого-экономической оценке твердых коммунальных отходов. В разделе «Материалы и методы исследования» описана информационная база, приведена логическая схема проведения исследования, сформирован методический подход к эколого-экономической оценке обращения с ТКО. Раздел «Результаты и их обсуждение» содержит апробацию разработанного методического подхода на примере крупных городов России, анализ подтверждения гипотезы исследования и сравнение полученных результатов с ключевой литературой по теме исследования. В заключении работы представлены основные выводы о проведенном исследовании, описан потенциал применения результатов на практике и перспективы дальнейшего развития исследования.

2. Степень изученности проблемы

Сфера обращения с твердыми коммунальными отходами является привлекательной междисциплинарной темой для исследователей России и зарубежных стран.

Свод метрик при использовании сбалансированной системы показателей в процессе обращении с ТКО предложили Вегера и др. [5]: издержкоемкость отходов, коэффициент оборачиваемости отходов и ряд других. Колесников [6] предложил использовать интегральную систему индикаторов на основе компонентов концепции устойчивого развития.

Молоков [7] обращает внимание на оценку финансирования технологической оснащенности организаций сферы ТКО.

Сравнительный анализ эколого-экономической обстановки в сфере управления ТКО провели Трейман и Игнатова [8] на основе эмпирических и специализированных данных ППК «РЭО» и других организаций. Они установили, что количество труднообрабатываемых отходов составляет 75–80 %.

Российские и зарубежные системы показателей, в том числе рейтинговых организаций, а также усовершенствованные подходы на основе для расчета состояния обращения с ТКО рассмотрены Чащиным [9; 10]. Критерии эколого-экономической оценки здоровья регионов в сравнении с вложенными инвестициями в основной капитал рассмотрела Мерзликина [11]. Пример эколого-экономической оценки (ЭЭО) факторов на основе LONGPEST-анализа в сфере обращения с ТКО провели Цховребов и Ниязгулов [12].

Дьяков [13] обосновал необходимость развития циркулярной модели экономики для обеспечения эколого-экономического сбалансированного развития региона. Динамику изменений эколого-экономических индикаторов при управлении природно-ресурсным потенциалом региона рассмотрели Семячков и др. [14].

Karaeva et al. [15] разработали эколого-экономические показатели, которые могут быть адаптированы к сфере обращения с ТКО. Karaeva, Magaril [16] также предложили систему учета образования отходов при инвестиционном проектировании денежных потоков в энергетике.

Ермолаева [17] представила результаты социологических исследований влияния общественного мнения, относящегося к деятельности в сфере обращения с ТКО среди хозяйствующих субъектов, некоммерческих организаций в срезе ресурсосбережения, экологических, экономических аспектов на основе экспертных мнений и оценок.

Taelman et al. [18] обосновывают использование показателей затрат жизненного цикла отходов, социального жизненного цикла отходов. Информационной базой для исследований могут стать GIS-данные для оценки состояния и прогнозирования состояния системы обращения с ТКО.

Учет жизненного цикла ТКО с применением эколого-экономических подходов позволил Paes et al. [19] обосновать оптимальные технологии компостирования ТКО, механической и биологической очистки и обработки на основе сценарного подхода. Оценку влияния раздельного сбора ТКО исследовали Llanquileo-Melgarejo и др. [20].

Abdeljaber et al. [21] ввели индекс экоэффективности, рассчитываемый на основе отношения нормализованного углеродного следа к приведенной стоимости реализации стратегии. Применение комплексной эколого-экономической оценки на основе Levelized Energy Cost (LEC) раскрыто в работе Двина и Даванкова [22].

Подход к эколого-экономической оценке обращения с ТКО на основе жизненного цикла рассмотрен Yang et al. [23], Kouassi et al. [24]. Схожий подход представлен Berardocco [25], который на каждой стадии цикла обращения с ТКО вводит измерители — расход дизельного топлива (галлонов/день), преодоленное расстояние автотранспортом (миль), затраты на оплату труда работникам в сфере обращения с ТКО, коэффициент выбросов CO_2 автотранспортом (CO_2 экв. галлон), технические характеристики оборудования (пропускная способность, энергопотребление, стоимость эксплуатационно-технического обслуживания), цена переработки (ден. ед.) и коэффициент выбросов CO_2 каждой категории тары (тонна CO_2 экв./т).

Le et al. [26] провели сравнение использования технологий обращения с ТКО по эколого-экономическим критериям, учитывая как экономические критерии (инвестиционные затраты на инфраструктуру, технического обслуживания, выручка от продажи ТКО (компост), социальный блок (участие общественности в управлении ТКО), количество судебных исков (общественный консенсус в сфере ТКО), количество вакансий в сфере обращения с ТКО, число людей, проживающих рядом со свалками, и количество обращений с аллергическими, кожными, респираторными заболеваниями, так и экологические аспекты (количество CO_2 на тонну отходов), квота землепользования лечебных мероприятий, (загрязненность воды выщелачивание на свалках, компостирование)).

Результаты проведенных аналитических исследований по рассматриваемой теме позволяют систематизировать эколого-экономические критерии по основным группам (табл. 2). На основе комбинации существующих подходов возможно формирование показателей, учитывающих экологические и природно-ресурсные критерии для обеспечения комплексной оценки сферы обращения с ТКО.

Таблица 2. **Подходы к оценке состояния сферы обращения с ТКО**
Table2. **Approaches to environmental and economic assessment of solid municipal waste management**

Группа авторов	Содержание метрик / метрические подходы	Источники
Вегера С. А., Малей Е. Б., Karaeva A. P., Magaril E. R. и др.	Показатели на основе BCS-подхода: издержкоемкость отходов, коэффициент оборачиваемости отходов и др.	[5, 13–15]
Цховребов Э. С., Ниязгулов У. Д. и др.	LONG-PEST подход к показателям ЭЭО	[12]
Abdeljaber A., Zannerni R., Двинин Д. Ю., Karaeva A. P. и др.	Финансовые показатели: NPV, IRR, PP, PI, индекс приведенной стоимости энергии LCOE и др.	[16, 21, 22]
Llanquileo-Melgarejo P., Molinos-Senante M. et al., Yang N., Li N. F. et al., Kouassi H. K., Murayama T.; Berardocco C., Delawte C., H, Tonini S. E., Wandl D., Paes M. X., Araujode Medeiros G., Трейман М. Г., Игнатова Д. Ю., Чащин М. Р. и др.	Показатели на основе оценки жизненного цикла обращения с ТКО: коэффициенты сортировки ТКО, циркулярности, долговечности, выбросов CO_2, климатических особенностей территории и др.	[8–10], [18–20, 23–26]
Le P. G., Le H. A., Ермолаева Ю. В., Колесников Р. В., Молоков М. А. и др.	Сравнительные показатели использования технологий (выручка, участие общественности и вовлечение (социометрический подход), количество судебных исков и др.)	[6, 7, 17]
Мерзликина Н. Г., Семячков А. И., Гао Ж., Атаманова Е. А. и др.	Экономические затраты на здоровье от проектов в сфере ТКО и влияние на природно-ресурсный потенциал регионов и др.	[11, 14]

На основе проведенного анализа источников выявлены основные существующие подходы к эколого-экономической оценке сферы обращения с ТКО и их недостатки: отсутствие параметров экономической оборачиваемости, индикаторов обращения с ТКО.

3. Материалы и методы

3.1. Материалы

Исследование включает основные блоки, представленные на рис. 1. В качестве источника информации об обращении с отходами использованы данные государственных докладов о состоянии окружающей среды.

<table>
<tr><td colspan="4">Цель: совершенствование подходов к оценке обращения с ТКО</td></tr>
<tr><td colspan="4">Гипотеза: возможность применения подходов экономической оборачиваемости к расчету циклов обращения с ТКО</td></tr>
<tr><td colspan="3">Формирование реестра существующих подходов к эколого-экономической оценке ТКО с определением преимуществ и недостатков</td><td>Анализ экологической и экономической информации о состояния обращения с ТКО по регионам России</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Инвестиционные</td><td rowspan="2">Удельные</td><td rowspan="2">Циклические и др.</td><td>Анализ экономической и экологической отчетности российских частных организаций и региональных операторов</td></tr>
<tr><td>Формирование укрупненных позиций по регионам</td></tr>
<tr><td colspan="4">Формирование подхода к эколого-экономической оценке обращения с ТКО, включение дополнительных показателей для мотивации к ответственному производству и потреблению и совершенствованию процессов в сфере управления ТКО в условиях цифровизации</td></tr>
<tr><td colspan="4">Расчет коэффициента корреляции между циклами обращения с отходами с хозяйственными циклами и медианных отраслевых эколого-экономических значений для организаций в крупных городах России</td></tr>
<tr><td colspan="4">Формирование предложений по совершенствованию деятельности организаций</td></tr>
</table>

Рис. 1. Логическая схема исследования

Figure 1. Logical framework for the study

В выбранных регионах рассмотрены следующие региональные операторы:

1) Свердловская область — Екатеринбургское муниципальное унитарное предприятие «Специализированная автобаза». 620102, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Посадская, д. 3; уставный капитал 47,6 млн руб.;
2) Пермский край — Пермское краевое государственное унитарное предприятие «Теплоэнерго» (реорганизовано с мая 2022 г.). 614081, Пермский край, г. Пермь, ул. Плеханова, д. 51в, (лит. А); уставный капитал 40,2 млн руб.;
3) Тюменская область — общество с ограниченной ответственностью «Тюменское экологическое объединение». 625023, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Харьковская, д. 75, корп. 1, офис 301; уставный капитал 15 млн руб.;

4) Челябинская область — общество с ограниченной ответственностью «Центр коммунального сервиса», 454090, Челябинская область, г. Челябинск, ул. Маркса, д. 38, офис 201; уставный капитал 10 тыс. руб.;
5) Москва — государственное унитарное предприятие города Москвы «Экотехпром», 119180, г. Москва, ул. Большая полянка, д. 42, стр. 1; уставный капитал 1247,39 млн руб.
6) Нижегородская область — общество с ограниченной ответственностью «НИЖЭКОЛОГИЯ-НН», 603105, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Ошарская, д. 95, помещение П3; уставный капитал 10 тыс. руб.

Далее была выгружена финансовая отчетность организаций из ресурса публичного доступа list.org, идентифицированы организации, которые продолжают свою деятельность и прекратившие ее.

Затем был проведен расчет эколого-экономических показателей деятельности организаций, они были объединены для оценки по регионам. В результате ЭЭО в сфере обращения с ТКО составлен рейтинг регионов, содержащий усовершенствованный подход к оценке и проведено их сравнение с рейтингом ППК «РЭО» и сформулированы рекомендации для совершенствования деятельности в сфере обращения с ТКО по компонентам.

3.2. Методический подход к эколого-экономической оценке обращения с ТКО

Проведенный анализ публикаций по теме исследования продемонстрировал, что основными проблемами существующих подходов к оценке обращения с ТКО являются отсутствие учета параметров оборачиваемости и индикаторов, отражающих процесс обращения с ТКО, таких как соотношение состояний циклов обращения с отходами и объем образуемых ТКО. С учетом этого авторы считают необходимым использовать аддитивный подход, который будет учитывать экологические аспекты:

$$K = \left(\left(\frac{A}{B} \cdot 365 \right) + \left(\frac{C}{B} \cdot 365 \right) - \left(\frac{B}{D} \cdot 365 \right) \right) \cdot k, \qquad (1)$$

где K — показатель эколого-экономической оценки жизненного цикла обращения с ТКО; A — средний объем обработанных ТКО, тыс. т; B — средний объем образованных ТКО, тыс. т; C — средний объем переработанных ТКО, тыс. т; D — средний объем захороненных ТКО, тыс. т; k — средний корректирующий коэффициент обращения с ТКО.

При обнаружении отрицательных значений можно выявить резервы увеличения продолжительности эколого-экономического цикла (ЭЭЦ) деятельности организаций в сфере обращения с ТКО.

В качестве корректирующих коэффициентов предлагается ввести показатели природоемкости, учитывающие отраслевую специфику, а именно (табл. 3):

- углеродоемкость жизненного цикла обращения с ТКО (Lw) — сумма отношений выбросов углекислого газа к соответствующим объемам ТКО по всем этапам жизненного цикла обращения с ТКО (т, кг/т, кг или цикл);
- водоемкость жизненного цикла обращения с ТКО (Bw) — сумма отношений использованного объема воды в хозяйственной деятельности к объемам ТКО по всем этапам жизненного цикла обращения с ТКО (т, кг/т, кг или цикл).

Кроме того, для учета экономических характеристик, вводится корректирующий показатель — результативность обращения с ТКО (TCw) — среднее значение долей отклонений от целевых параметров каждого цикла обращения с ТКО.

Формулы, для расчета предлагаемых коэффициентов, приведены в табл. 3.

На основе перечисленных показателей предлагается проводить расчет среднего корректирующего коэффициента обращения с ТКО по уравнению (2).

$$k = \frac{\left(L_{w(n)} + B_{w(n)} + TC_{w(n)}\right)}{3}. \tag{2}$$

Преимуществами предложенных показателей являются универсальность, возможность использования в междисциплинарных проектах; относительная простота расчетов, понятность и информативность, использование данных прошлых периодов.

4. Результаты

Установлено, что большой объем утилизации ТКО может повлиять на жизненный цикл обращения с ТКО. Это, в частности, подтверждают опыт Пермского края и Свердловской области, где в исследуемый период объемы захоронения отходов имели большую долю. Комплекс мер с изменением подходов к эколого-экономической оценке управления ТКО повысит мотивацию участников проектов в сфере обращения с ТКО.

Апробация предложенных показателей эколого-экономической оценки проведена на основе открытых данных хозяйствующих субъектов в крупных городах России. Для апробации подхода сформирован реестр организаций, состоящий из 46 организаций частного бизнеса (с публичной отчетностью) и пять региональных операторов рассматриваемых субъектов. Рыночный и конкурентный характер взаимодействий свойственен частным организациям, в то время как региональные операторы, деятельность которых зависит от проводимой индексации тарифов на обращение с ТКО в регионах, могут занимать более выгодное и доминирующее положение. В связи с этим определены средние значения показателей для частных организаций и региональных операторов.

Таблица 3. **Показатели оценки в системе управления ТКО для расчета корректирующего коэффициента *k***

Table 3. **Assessment indicators in the MSW management system for the digital platform for calculating the correction factor *k***

Наименование показателя	Пояснение	Формула	Источники информации	Пояснения
		Блок «Нагрузка на окружающую среду»		
Углеродоемкость жизненного цикла обращения с ТКО ($L_{w(n)}$)	т, кг/т, кг или цикл	$L_{w(n)} = L_{w_{m-1}} / L_{w_m}$, где $L_w = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_{i_{CO_2}}}{w_i}$	Модули SAP ERP, 1С, данные о транспортных средствах организаций, информационные системы: https://co2.gi-see.ru/ и др.	m — год обращения с отходами; $V_{i_{CO_2}}$ — совокупный объем выбросов CO_2 на i-м этапе; жизненного цикла обращения с ТКО; $i = 1, \ldots, n$ (сбор, транспортировка, переработка и др.); w_i — объем ТКО на i-м этапе жизненного цикла обращения с ТКО
Водоемкость жизненного цикла обращения с ТКО ($B_{w(n)}$)	т, кг/т, кг или цикл	$B_{w(n)} = B_{w_{m-1}} / B_{w_m}$, где $B_w = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_{i_{H_2O}}}{w_i}$	Данные государственных докладов, региональные отчеты, отчеты организаций	$V_{i_{H_2O}}$ — совокупный объем водопотребленияна i-м этапе жизненного цикла обращения с ТКО. Справочно: 1 т пластика ~ 3,33 литра (при наличии системы очистки), ~ 5,55 литров воды, выделение доли фракции пластика ~20 % от совокупного объема ТКО
		Блок «Экономические характеристики»		
Результативность обращения с ТКО ($TC_{w(n)}$)	т, кг/т, кг или цикл	$TC_{w(n)} = TC_{w_{m-1}} / TC_{w_m}$, где $TC_{w_m} = \frac{\left(\frac{V_{x\ \text{факт}}}{V_{x\ \text{план}}} + \frac{V_{rec\ \text{факт}}}{V_{rec\ \text{план}}} \right)}{2}$	Данные государственных докладов, региональные отчеты	V_x — объем накопления ТКО (факт/план) V_{rec} — объем переработки ТКО, (факт/план)

В соответствии со ст. 24.6 Федерального закона № 89 «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 (ред. от 04.08.2023) в каждом субъекте функционирует региональный оператор. Его статус присваивается на срок не более чем на 10 лет на основе конкурсного отбора, далее срок может быть продлен не более чем на пять лет без конкурсного отбора. Хозяйствующие субъекты осуществляют сбор, транспортировку, обработку, утилизацию, обезвреживание, захоронение ТКО в соответствии с территориальной схемой обращения с ТКО единолично либо совместно с другими региональными операторами. В рамках оценки финансового состояния региональных операторов можно выявить лидеров в Перми и Екатеринбурге, имеющих положительный собственный оборотный капитал (табл. 4). Негативным индикатором финансового состояния организаций является недостаток собственного оборотного капитала, что является причиной обращения хозяйствующих субъектов к заемным средствам.

Отрицательный оборотный капитал наблюдается у региональных операторов Тюмени, Челябинска, Нижнего Новгорода. Оборачиваемость у частных организаций лучше в сравнении с региональными операторами. Долговая нагрузка (Долг/EBIT) частных организаций (–4) ниже в несколько раз в сравнении с региональными операторами (–9), что свидетельствует о высоком уровне долговой нагрузки региональных операторов в Тюмени и Челябинске, медианное значение специализированных организаций составляет от семи в 2020 г. до трех в 2022 г. В связи с этим требуется разработка специализированных льготных программ на приобретение оборудования, финансирование деятельности.

В среднем расчетная рентабельность продаж частных организаций составляет 3 %, региональных операторов — 1 % (табл. 4). Региональные операторы привязаны к тарифам, при обосновании существуют риски отражения негативных результатов деятельности для дальнейшего повышения тарифов при их обосновании.

Соответствующий размер доходности обусловлен особенностью организаций, большой долей капитальных затрат (оборудование, транспорт, логистика). При анализе корреляции между циклом обращения с ТКО и финансовыми показателями было установлено, что большее значение характерно не для финансового цикла, а по отношению к данным запасов организаций.

Ключевым экологическим параметром является соотношение объемов утилизации (включая переработку) и захоронения ТКО. Установлено, что большой объем утилизации ТКО не только снижает нагрузку на полигоны, но и оказывает существенное влияние на весь жизненный цикл обращения с отходами, создавая предпосылки для экономики замкнутого цикла. Однако результаты по исследуемым городам демонстрируют значительную вариативность.

Таблица 4. **Сводная ЭЭО организаций в сфере обращения с ТКО**

Table 4. **Consolidated environmental and economic assessment of organizations in the sphere of solid waste management**

№ п/п	Показатели	Пермский край				Тюменская область				Свердловская область				Челябинская область				Москва			Нижегородская область				Медианное значение			
	Этап обращения с ТКО, тыс. т (1–5)*	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
1	Образование	519	543	606	—	807	496	466	—	2 448	1 502	1 459		859	831	920	—	52 529	55 022	55 193	897	945	929	—	878	888	925	—
2	Обработка	118	449	774	—	191	344	313	—	269	159	141		312	645	563	—	22 789	33 569	44 379	509	684	849	—	290	494	438	—
3	Утилизация и обезвреживание	—	112	115	—	99	113	116	—	111	223	88		9	8	3	—	6 623	11 139	8 870	33	78	50	—	111	118	115	—
4	Обезвреживание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	119		—	1	10	—	—	7 757	6 647	—	—	—	—	—	22	110	—
5	Захоронение	—	534	577	—	—	491	449	—	—	1 370	1 436		—	370	984	—	—	11 728	11 186	—	460	632	—	—	512	808	—
6	Цикл обращения с ТКО	0	330	329	—	—	106	120	—	—	356	334	—	—	533	116	—	0	718	—1 229	—	455	183	—	0	405,5	183	—
7	Оборачиваемость запасов	34	10	11	9	27	37	56	87	12	15	22	20	33	51	49	37	73	41	40	15	22	9	10	46	31	31	19
8	Оборачиваемость дебиторской задолженности (ДЗ)	15	22	60	40	2	4	8	16	0	0	5	6	49	41	14	3	36	166	164	22	19	12	14	29	77	84	44
9	Оборачиваемость кредиторской задолженности (КЗ)	109	143	110	162	395	311	187	42	286	202	125	107	40	68	81	74	295	198	170	3	4	1	2	177	154	125	134
10	Финансовый цикл, ФЦ	–60	–111	–39	–113	–365	–270	–123	60	–274	–187	–99	–81	41	24	–18	–35	–186	9	33	35	38	20	21	–102	–46	–10	–70
11	Долг/EBIT	2	4	4	4	3	1	1	1	–2	3	0	1	3	1	1	1	4	21	4	–7	12	3	2	5	7	3	3

Окончание табл. 4

№ п/п	Показатели	Пермский край				Тюменская область				Свердловская область				Челябинская область				Москва			Нижегородская область				Медианное значение			
	Этап обращения с ТКО, тыс. т (1–5)*	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
12	CO_2-экв. тыс. т	—	139	205	—	—	114	104	—	—	167	170	0	—	160	205	—	—	7555	9556	—	176	225	—	—	145	164	—
13	L_w	—	—	1,48	—	—	—	0,91	—	—	—	1,02	—	—	—	1,29	—	—	—	1,26	—	—	1,28	—	—	—	1,13	1,27
14	V_{iH_2O}	—	729	976	—	—	631	584	—	—	1166	1108	—	—	681	1032	—	—	37586	42913	—	813	1019	—	—	748	906	—
15	$B_{w(n)}$	—	—	1,00	—	—		0,99	—	—	—	0,99	—	—	—	1.00	—	—	—	1,00	—	—	1,00	—	—	—	1,00	—
16	V_x	—	—	1,08	—	—		0,91	—	—	—	1,04	—	—	—	2,65	—	—	—	0,95	—	—	1,37	—	—	—	1,06	—
17	V_{rec}	—	—	0,97	—	—	0,87	0,97	—	—	0,49	2,53	—	—	—	2,66	—	—	0,59	1,25	—	0,42	1,56	—	—	—	1,40	—
18	TC_w	—	—	1,02	—	—		0,94	—	—	—	1,78	—	—	—	2,65	—	—	—	1,1	—	—	1,46	—	—	—	1,46	—
19	k	—	—	1,17	—	—		0,95	—	—	—	1,27	—	—	—	1,65	—	—	—	1,12	—	—	1,25	—	—	—	1,20	—
20	K	—	—	383	—	—		114	—	—	—	423	—	—	—	191	—	—	—	1378	—	—	228	—	—	—	219	—
21	Коэффициент корреляции (КК) цикл ТКО / ФЦ	–0,23			—	1,00			—	–1,00			—	1,00			—	1,00			1,00			—	0,56			—
22	КК цикл ТКО / запасы	–1,00			—	1,00			—	–1,00			—	1,00			—	—1,00			1,00			—	–0,83			—
23	КК цикл ТКО / ДЗ	0,62			—	1,00			—	–1,00			—	1,00			—	1,00			1,00			—	0,77			—

Примечание: * данные государственных докладов о состоянии окружающей среды.

Пермский край и Свердловская область в исследуемый период демонстрировали наибольшую долю захоронения отходов. Это создает повышенную нагрузку на окружающую среду: риск загрязнения почв и грунтовых вод фильтратом, эмиссию свалочного газа (метана — мощного парникового газа), деградацию земель, занятых под полигоны. Экономически это выражается в быстром исчерпании емкости действующих полигонов, необходимости инвестиций в новые объекты захоронения и росте логистических издержек по транспортировке отходов на удаленные площадки. Низкий уровень утилизации указывает на неразвитость инфраструктуры сортировки и переработки, а также, возможно, на недостаточную мотивацию участников рынка к извлечению вторичных ресурсов.

Ситуация в Челябинской области близка к Свердловской области и Пермскому краю с преобладанием захоронения ТКО. Дополнительным фактором риска является высокая концентрация промышленности, что потенциально увеличивает долю сложных в переработке отходов в общем потоке ТКО при нарушении условий сортировки и их накопления.

Тюменская область показывает несколько лучшие, но все еще недостаточные показатели по утилизации (порядка 15–20 %), однако финансовые проблемы организаций ТКО создают риски для дальнейшего развития инфраструктуры переработки. Формально выгодное положение регионального оператора (гарантированный объем работ, регулируемый тариф) на практике оборачивается финансовой неустойчивостью из-за:

- недостаточного уровня тарифов, не покрывающих реальные затраты, особенно капитальные;
- высокой инвестиционной нагрузки в условиях несовершенства тарифной методологии;
- политического давления при установлении тарифов;
- рисков недополучения доходов из-за недобросовестности плательщиков (население, юридических лиц, отсутствием их экономической мотивации к активному включению в управление ТКО);
- вывод капитала через займы, заключение контрактов с аффилированными организациями, например на этапе транспортировки ТКО и др.

Москва демонстрирует наиболее прогрессивные показатели в части снижения доли захоронения благодаря масштабным инвестициям в мусоросортировочные комплексы (МСК) и объекты переработки. Однако даже здесь сохраняются вызовы, связанные с качеством сортировки, эффективностью извлечения фракций, поиском устойчивых рынков сбыта для вторичного сырья и экологичностью методов обработки. Немаловажным является контроль вывоза ТКО в другие регионы из Москвы.

Нижний Новгород занимает промежуточное положение. Наблюдаются усилия по развитию сортировки, но доля утилизации остается умеренной (около 25–30 %), а экономические показатели организаций ТКО также вызывают опасения.

5. Обсуждение

На основании результатов проведенного анализа предлагается для увеличения прозрачности данных об обращении с отходами детализировать информацию по направлениям использования ТКО в соответствии с основными принципами экономики «замкнутого цикла».

Выбор критериев оценки обусловлен не только влиянием загрязнения занятых отходами земель, воздействием свалочного газа на окружающую среду, водные объекты, но и с позиции рационализации использования водных ресурсов при обращении с ТКО, сокращения углеродного следа на каждом этапе хозяйственной деятельности при обращении с отходами.

В ходе проведенного исследования был усовершенствован подход к эколого-экономической оценке системы управления твердыми коммунальными отходами. Полученные результаты позволяют сделать ряд важных выводов и обсудить их в контексте существующих научных работ как зарубежных, так и российских авторов.

Финансовый цикл и цикл обращения с ТКО, согласно полученным результатам, коррелируют друг с другом (табл. 4), что подтверждает гипотезу о возможности применения подхода экономической оборачиваемости, адаптированный к циклу обращения с ТКО. Наибольшая положительная корреляция характерна в части оборачиваемости запасов, это, вероятно, обусловлено тем, что отходы могут быть для профильных организаций ресурсами-запасами, которые потенциально вовлекаются в процесс обработки, переработки ТКО. Результат согласуется с работами Всемирного банка[1], Моторина [27] и Королевой [28], выявивших взаимосвязи между экономическим состоянием хозяйств и эффективностью их системы управления отходами. Эта корреляция открывает возможности для применения адаптированных подходов экономической оборачиваемости к оценке эффективности управления отходами. Этот результат имеет важное теоретическое и практическое значение.

Теоретическое значение результатов заключается в подтверждении значимости отходов для профильных организаций как специфического вида «запасов». Эти «запасы» (вторичное сырье, подготовленное к переработке, компост, RDF) представляют собой потенциальный ресурс, вовлекаемый в дальнейший экономический оборот. Скорость их реализации (т. е. передачи переработчикам, энергетикам) напрямую влияет на финансовую эффективность оператора. Чем быстрее оборачиваются эти «запасы», тем эффективнее работает система замкнутого цикла в экономическом выражении.

Практическое значение результатов в управлении оборачиваемостью «запасов отходов» становится ключевым рычагом повышения экономической

[1] Отходы в России: мусор или ценный ресурс? Сценарий развития сектора обращения с твердыми коммунальными отходами // Международная финансовая корпорация, группа Всемирного банка. 2014. URL: http://biotech2030.ru/wp-content/uploads/2018/04/Othody-v-RF.pdf (дата обращения: 23.03.2025).

эффективности системы ТКО и включает основные направления по совершенствованию деятельности организаций в сфере ТКО: мотивацию участников системы ТКО, оптимизацию логистики сбора и транспортировки отсортированных фракций, развитие рынков сбыта вторичных ресурсов, сокращение времени хранения сырья на сортировочных станциях, повышение качества сортировки и чистоты фракций, что увеличивает их рыночную стоимость и скорость реализации.

Относительно слабая корреляция наблюдалась с другими компонентами финансового цикла (оборачиваемостью дебиторской и кредиторской задолженности). Это подчеркивает уникальность связи именно с управлением материальными потоками (запасами) в контексте ТКО и требует дальнейших исследований для выявления специфических факторов влияния.

В исследовании выявлен потенциал использования подхода для экспресс эколого-экономической оценки ТКО с использованием корректирующих показателей, характеризующих углеродный след ТКО, водоемкость, экономические аспекты. Их возможно использовать в рамках цифровых платформ в области управления ТКО.

Они также соответствуют концепции инновационных систем «третичных» («экономики знаний»), «четвертной» (построение общества знаний и их демократизация, сетевая интерактивная координация взаимодействия субъектов), «пятеричных» спиралей (включает социальные и экологические аспекты), вовлекающих большее количество стейкхолдеров во взаимодействие друг с другом по Leydesdorff [29], Бондаренко и др. [30].

Платформенные модели соответствуют клиентоцентричным подходам, ориентированным на реакцию организаций, сопровождение, выстраивание и поддержание взаимоотношений в дальнейших продуктовых жизненных циклах и ценностных аспектах, как подчеркивают Osterwalder, Pigneur [31; 32], Delgado, Porter [33], Stenroos et al. [34] Гительман и др. [35], Jan, Zailani [36] предлагают видение модификации ценностных моделей экономических участников с уклоном на устойчивое развитие. В предлагаемой модели проводится учет выгод, ценностных аспектов стейкхолдеров.

Проблематика исследований эколого-экономических подходов была раскрыта в работах Razzaq et al. [37]. Они отмечают, что увеличение переработки ТКО на 1 % способствует экономическому росту и сокращению выбросов углерода на 0,317 %. Необходимость контроля углеродного следа от ТКО аргументирована в исследовании Garibay-Rodriguez et al. [38], Карелов и др. [39]. Компания SAP в модуле информационных систем внедряет включение метрик ESG для клиентов, решения позволяют вести учет ESG деятельности организаций, рассчитывать углеродный след и др[1]. Модули активно используют организации различных отраслей хозяйственной деятельности:

[1] Sustainability and ESG reporting solutions. URL: https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/sustainability/esg-reporting.html (дата обращения: 29.09.2024).

агробизнес в Бразилии (S.OLEUM), энергетические компании, университеты (Университет Торонто), производители товаров «Henkel», «Unilever» и др.

В проведенном исследовании предложен подход, который учитывает ресурсную составляющую (водоемкость), углеродный след от хозяйственной деятельности при обращении с ТКО (от транспортировки ТКО, накопления, захоронения, формирования свалочного газа и др.), эти показатели отличаются достаточной гибкостью, в то же время ограничениями подхода является недостаточно полный учет других видов ресурсов, что может быть направлением дальнейшего его совершенствования.

В разработанном подходе предложено оценивать результативность организаций/регионов, которые не выполняют нормативные значения по целевым индикаторам в сфере обращения с ТКО. Предложенная расчетная модель может потенциально выявлять недочеты в предоставляемой информации, верифицировать ее. В связи с этим корректирующие коэффициенты призваны мотивировать организации к развитию эколого ориентированной деятельности.

В текущее время ППК «РЭО» организовал единую информационную площадку для реализации фракций ТКО: https://etp.reo.ru/#/. На ней продавец и покупатель могут осуществлять реализацию ТКО. Торги проводятся в формате аукциона. Однако информационная система не отражает объем сделок, контракты невозможно отслеживать как в ходе биржевых торгов. На площадке отсутствует алгоритм расчета и верификации объемов фракций ТКО от продавцов. В связи с малым количеством участников на ресурсе можно установить, что программы ресурса не пользуются широкой популярностью среди участников. В электронном ресурсе отсутствуют метрики эколого-экономической оценки деятельности, а также инструментарий для рейтингования субъектов в рамках формирования доступных предложений для мотивации участников системы ТКО: льготного кредитования, лизинга, налоговых режимов, субсидирования и оценки целевых показателей субъектов в рамках программ на основе эколого-экономического подхода.

Предлагаемые показатели эколого-экономической оценки могут быть предложены для совершенствования этой информационной площадки, их учет позволит повысить мотивацию участников аукционов к реализации принципов экономики замкнутого цикла. Предлагаемый подход также формирует основу для более точной оценки деятельности организаций и, как следствие, для повышения мотивации участников проектов в сфере обращения с ТКО через увязку их вознаграждения с реальными показателями вовлечения вторичных ресурсов в оборот. Предлагаемый комплекс мер с изменением методов измерения и отчетности должен стать основой для такой системы стимулирования.

Проведенный анализ систем управления ТКО в шести крупных российских городах выявил сложную картину со значительными экологическими рисками из-за преобладания захоронения (особенно в Перми, Екатеринбурге, Челябинске) и глубокими экономическими проблемами, сконцентрированными в секторе региональных операторов. Ключевые проблемы организаций ТКО — отрицательная рентабельность, критическая долговая нагрузка и недостаток собственных оборотных средств — требуют немедленных мер государственной поддержки и реформирования тарифного регулирования.

Подтвержденная корреляция финансового цикла (особенно оборачиваемости запасов) с эффективностью управления ТКО открывает новые возможности для оценки и мониторинга деятельности операторов на основе принципов экономической оборачиваемости. Детализация данных по потокам отходов и методам их утилизации является необходимым условием для повышения прозрачности, управления развитием переработки, внедрения принципов экономики замкнутого цикла и создания эффективной системы мотивации участников рынка.

Исходя из выявленных закономерностей и проблем, представляется целесообразным внедрение комплексной модели управления ТКО, которая должна включать:

1. Жесткую увязку тарифного регулирования организаций ТКО с достижением целевых экологических и экономических показателей, внедрением современных технологий и обеспечением их долгосрочной финансовой устойчивости (включая RAB-подход).
2. Развитие и поддержку конкурентного частного сектора в сегментах переработки, разработки инновационных решений, предоставления специализированных услуг.
3. Масштабную программу государственной поддержки (льготные кредиты, субсидии, гранты) для модернизации инфраструктуры, особенно в проблемных регионах и для организаций ТКО с негативными финансовыми показателями.
4. Внедрение единой детализированной системы отчетности по фракциям и методам обращения с ТКО на всех уровнях для обеспечения прозрачности и управления развитием.
5. Использование методик эколого-экономической оценки деятельности операторов с акцентом на управление запасами ТКО и углеродным следом.
6. Стимулирующие меры (госзакупки, налоговые льготы) для создания устойчивого спроса на вторичные ресурсы.

Только комплексный подход, учитывающий как экологические императивы (сокращение захоронения, снижение нагрузки на среду), так и экономические реалии (обеспечение финансовой устойчивости операторов, создание рынка вторичного сырья), позволит создать эффективную и устойчивую систему обращения с ТКО в исследуемых городах и России в целом. Полученные результаты и предложенные меры формируют научно-практическую основу для такого развития.

Таким образом, полученные результаты исследования согласуются с позициями авторов работ по тематике эколого-экономических исследований.

Предлагаемый подход обладает гибкостью за счет применения корректирующих показателей, которые могут варьироваться в части весов для стимулирования направлений развития управления ТКО, включают оценку воздействия ТКО на окружающую среду с учетом углеродного следа, потребления водных ресурсов, а также учитывает показатель эффективности деятельности организаций в обращении с ТКО, стимулирующий уменьшение захоронения ТКО для снижения вредного воздействия на земельные ресурсы.

Исследование ограничено рамками географической территории и установленным временным периодом анализа. Результаты могут не отражать долгосрочные динамические эффекты или быть полностью экстраполируемы на иные регионы с отличающимися социально-экономическими, климатическими и инфраструктурными условиями. Морфологический состав ТКО может отличаться друг от друга.

Полученные результаты не в полной мере учитывают все косвенные экологические и социальные издержки/выгоды (например, влияние на туристическую привлекательность, изменение стоимости недвижимости вблизи объектов размещения отходов, долгосрочные последствия для биоразнообразия).

В исследовании используется ограниченный набор метрик, который призван формировать единообразие подходов к эколого-экономической оценке. Прослеживается вариативность отчетных данных в части обращения с ТКО у организаций, что влияет на точность оценок и интерпретацию результатов при дальнейшем увеличении существенного расхождения данных (органов статистики, данных государственных докладов, отчетов Счетной палаты, ППК «РЭО» и др.). Требуется применение дополнительных подходов к оценке обращения с ТКО среди территорий при возможном выявлении аномальных значений обращения с ТКО (вывоз ТКО в другие регионы, изменение методик расчетных показателей и др.).

В будущем планируется дополнить предлагаемый подход введением учета параметров цифровизации, например показателями для оценки скорости процессов по циклам обращения с ТКО, эффективности финансирования мероприятий по минимизации киберугроз, технико-экономическими показателями, а также детализацией факторов и их ранжированием по направлениям воздействия ТКО на воздух, воду, земельные ресурсы и др.

6. Выводы

В исследовании подтверждена гипотеза о возможности применения подхода экономической оборачиваемости к расчету метрик для проведения эколого-экономической оценки субъектов системы ТКО. Проведена оценка корреляции экологических и экономических показателей деятельности организаций сферы ТКО. В результате исследования предложен и апробирован на примере крупных городов России методический подход к оценке обращения с твердыми коммунальными отходами на основе предложенных показателей эколого-экономической оценки. Отличительной его особенностью является учет экологических параметров и корректирующих коэффициентов, которые призваны мотивировать участников системы управления ТКО к реализации принципов циркулярной экономики. Эколого-экономические параметры могут быть использованы в оценке субъектов, рейтинговании, в процессе принятия управленческих решений.

Выявлена неэффективность деятельности региональных операторов. В частности, сохраняется высокий уровень захоронения ТКО, сдерживается развитие конкуренции, существуют потенциальный риск заинтересованности региональных операторов в отрицательных показателях деятельности при увеличении затрат для обоснования дальнейшего повышения тарифов (экстенсивный характер деятельности за счет плательщиков услуг).

Обнаружена положительная корреляция цикла обращения с ТКО с оборачиваемостью запасов организаций в связи с тем, что отходы могут быть для профильных организаций ресурсами-запасами, вовлекаемыми в хозяйственную деятельность.

В рамках исследования рассчитаны показатели деятельности как частных организаций, так и региональных операторов на примере крупных городов России. Они могут быть использованы в качестве нормативных значений для оценки деятельности хозяйствующих субъектов. В дальнейших исследованиях запланирована апробация индикаторов и рассчитанных медианных значений для проведения дальнейших сравнений относительных медианных показателей с частными значениями эколого-экономической деятельности организаций ТКО.

Список использованных источников

1. *Reike D., Vermeulen W. J.V., Witjes S.* Conceptualization of Circular Economy 3.0: Synthesizing the 10R Hierarchy of Value Retention Options // Towards a Circular Economy. Transdisciplinary Approach for Business / edited by A. Alvarez-Risco, M. A. Rosen, S. Del-Aguila-Arcentales. Springer Cham, 2022. Pp. 47–69. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94293-9_3

2. *Потравный И. М., Баах Д.* Энергетическая утилизация твердых коммунальных отходов в контексте низкоуглеродного развития // Управленческие науки. 2021. Т. 11, № 3. С. 6–22. https://doi.org/10.26794/2404-022X-2021-11-3-6-22

3. *Wei G., Beidou X., Caihong H., Jiaxi L., Zhurui T., Wei L., Caiyun M., Weixia W.* Solid Waste Management in China: policy and driving factors in 2004–2019 // Resources, Conservation and Recycling. Vol. 173. 105727. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105727

4. *Kurniawan T. A., Liang X., O'Callaghan E., Goh H., Othman M. H.D., Avtar R. Kuswo ro T. D.* Transformation of Solid Waste Management in China: Moving towards Sustainability through Digitalization-Based Circular Economy // Sustainability. 2022. Vol. 14, Issue 4. 2374. https://doi.org/10.3390/su14042374

5. *Вегера С. А., Малей Е. Б. Афанасьева Е. Ю., Сушко О. А.* Оценка эффективности управления промышленными отходами как часть стратегии устойчивого развития предприятия // Вестник Полоцкого государственного университета. 2022. № 6. С. 2–12. https://doi.org/10.52928/2070-1632-2022-61-6-2-12

6. *Колесников Р. В.* Формирование системы индикаторов для социо-эколого-экономической оценки региональной системы обращения с твердыми коммунальными

отходами // Петербургский экономический журнал. 2021. № 4. С. 103–115. https://doi.org/10.24412/2307-5368-2021-4-103-115

7. *Молоков М. А.* Комплексная система обращения с ТКО в Российской Федерации: проблемы трактовки и формирования // Финансы и управление. 2024. № 1. С. 59–71. https://doi.org/10.25136/2409-7802.2024.1.70175

8. *Трейман М. Г., Игнатова Д. Ю.* Анализ эколого-экономической ситуации на рынке по обращению с отходами в Российской Федерации // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2022. № 3. С. 33–41. https://doi.org/10.17586/2310-1172-2022-17-3-33-41

9. *Чащин М. Р.* Совершенствование обращения с твердыми коммунальными отходами при межотраслевом планировании циркулярной экономики // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13, № 2. С. 427–446. https://doi.org/10.18334/epp.13.2.117111

10. *Чащин М. Р.* Обоснование барьеров оценочных критериев рейтинговых агентств в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами // Мировое и национальное хозяйство. 2023. № 3. С. 87–123. URL: https://mirec.mgimo.ru/2023/2023-03/solid-municipal-waste-management-rating

11. *Мерзликина Г. С.* Экономическая эффективность «экологического здоровья» региона // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81, № 2. С. 312–319. https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-312-319

12. *Цховребов Э. С., Ниязгулов У. Д.* Концептуальные направления развития инженерно-технических систем жизнеобеспечения городского хозяйства в области обращения с отходами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11, № 1. С. 94–111. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-94-111

13. *Дьяков М. Ю.* Модель циркулярной экономики как перспективное направление перехода к региональной эколого-экономической сбалансированности // Управление. 2021. Т. 9, № 4. С. 75–87. https://doi.org/10.26425/2309-3633-2021-9-4-75-87

14. *Семячков А. И., Гао Ж., Атаманова Е. А.* Управление природно-ресурсным потенциалом региона на основе изменчивости эколого-экономических индикаторов // Экономика региона. 2021. Т. 17, № 2. С. 520–537. https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-2-12

15. *Karaeva A. P., Magaril E. R., Kiselev A. V., Cioca L.-I.* Screening of Factors for Assessing the Environmental and Economic Efficiency of Investment Projects in the Energy Sector // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. Vol. 19, Issue 18. 11716. https://doi.org/10.3390/ijerph191811716

16. *Karaeva A., Magaril E.* Considering Waste Generation in the Energy Sector during the Transition to a Circular Economy // Recycling. 2023. Vol. 8, Issue 2. 42. https://doi.org/10.3390/recycling8020042

17. *Ермолаева Ю. В.* Модернизация сектора обращения с отходами в России: поле экспертного анализа // Вестник Института социологии. 2019. Т. 10, № 3. С. 131–150. https://doi.org/10.19181/vis.2019.30.3.596

18. *Taelman S. E., Tonini D., Wandl A., Dewulf J.* A Holistic Sustainability Framework for Waste Management in European Cities: Concept Development // Sustainability. 2018. Vol. 10, Issue 7. 2184. https://doi.org/10.3390/su10072184

19. *Paes M. X., de Medeiros G. A., Mancini S. D., Bortoleto A. P., de Oliveira J. A.P., Kulay L. A.* Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 254. 119848. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119848

20. *Llanquileo-Melgarejo P., Molinos-Senante M., Romano G., Carosi L.* Evaluation of the Impact of Separative Collection and Recycling of Municipal Solid Waste on Performance: An Empirical Application for Chile // Sustainability. 2021. Vol. 13, Issue 4. 2022. https://doi.org/10.3390/su13042022

21. *Abdeljaber A. Zannerni R., Masoud W., Abdallah M. Rocha-Meneses L.* Eco-Efficiency Analysis of Integrated Waste Management Strategies Based on Gasification and Mechanical

Biological Treatment // Sustainability. 2022. Vol. 14, Issue 7. 3899. https://doi.org/10.3390/su14073899

22. *Двинин Д. Ю., Даванков А. Ю.* Комплексная эколого-экономическая оценка низкоуглеродных источников энергии // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 696–720. https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.028

23. *Yang N., Li F., Liu Y., Dai T., Wang Q., Zhang J., Dai Z., Yu B.* Environmental and Economic Life-Cycle Assessments of Household Food Waste Management Systems: A Comparative Review of Methodology and Research Progress // Sustainability. 2022. Vol. 14, Issue 13. 7533. https://doi.org/10.3390/su14137533

24. *Kouassi H. K., Murayama T., Ota M.* Life Cycle Analysis and Cost–Benefit Assessment of the Waste Collection System in Anyama, Cote d'Ivoire // Sustainability. 2022. Vol. 14, Issue 20. 13062. https://doi.org/10.3390/su142013062

25. *Berardocco C., Delawter H., Putzu T., Wolfe L. C., Zhang H.* Life Cycle Sustainability Assessment of Single Stream and Multi-Stream Waste Recycling Systems // Sustainability. 2022. Vol. 14, Issue 24. 16747. https://doi.org/10.3390/su142416747

26. *Le P. G., Le H. A., Dinh X. T., Nguyen K. L.P.* Development of Sustainability Assessment Criteria in Selection of Municipal Solid Waste Treatment Technology in Developing Countries: A Case of Ho Chi Minh City, Vietnam // Sustainability. 2023. Vol. 15, Issue 10. 7917. https://doi.org/10.3390/su15107917

27. *Моторин Д. Е.* Раздельный сбор отходов в контексте реформирования отрасли обращения с твердыми коммунальными отходами // Актуальные проблемы российского права. 2022. Т. 17, № 1. С. 178–188. https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.134.1.178-188

28. *Королева Л. П.* Вклад рециклинга в неоиндустриальное развитие: классификация эффектов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2017. № 2. С. 29–38. https://doi.org/10.17586/2310-1172-2017-10-2-29-38

29. *Leydesdorff L.* Evolutionary and Institutional Triple Helix Models // The Evolutionary Dynamics of Discursive Knowledge. Communication-Theoretical Perspectives on an Empirical Philosophy of Science. Springer Cham. 2021. Pp. 89–113. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59951-5_5

30. *Бондаренко Н. Е., Дубовик М. В., Губарев Р. В.* «Тройная спираль» как основа создания инновационных систем // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2018. № 2. С. 3–15. https://doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-3-15

31. *Osterwalder A., Pigneur Y.* Designing Business Models and Similar Strategic Objects: The Contribution of IS // Journal of the Association for Information Systems. 2013. Vol. 14, Issue 5. Pp. 237–244. https://doi.org/10.17705/1jais.00333

32. *Osterwalder A., Pigneur Y., Tucci C. L.* Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept // Communications of the Association for Information Systems. 2005. Vol. 16. Pp. 1–25. https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601

33. *Delgado M., Porter M.* Clusters and the Great Recession // SSRN Electronic Journal. 2021. https://doi.org/10.2139/ssrn.3819293

34. *Stenroo A., Welathanthri M. D. Ranta V.* What Is the Customer Value of the Circular Economy? Cross-Industry Exploration of Diverse Values Perceived by Consumers and Business Customers // Sustainability. 2021. Vol. 13, Issue 24. 13764. https://doi.org/10.3390/su132413764

35. *Гительман Л. Д., Кожевников М. В.* Концептуальное представление энергетического перехода в электроэнергетике региона в новых реалиях // Экономика региона. 2023. Т. 19, № 3. С. 844–859. https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-3-17

36. *Jan J., Zailani S.* Antecedent and outcomes study on green value chain initiatives: a perspective from sustainable development and sustainable competitive advantage // International Journal of Value Chain Management. 2010. Vol. 4, No. 4. Pp. 319–364. https://doi.org/10.1504/IJVCM.2010.036992

37. *Razzaq A., Sharif A., Najmi A., Tseng M.-L., Lim M. K.* Dynamic and causality interrelationships from municipal solid waste recycling to economic growth, carbon emissions and energy

efficiency using a novel bootstrapping autoregressive distributed lag // Resources, Conservation and Recycling. 2021. Vol. 166. 105372. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105372

38. *Garibay-Rodriguez J., Laguna-Martinez M. G., Rico-Ramirez V., Botello-Alvarez J. E.* Optimal municipal solid waste energy recovery and management: A mathematical programming approach // Computers & Chemical Engineering. 2018. Vol. 119. Pp. 394–405. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.09.025

39. *Карелов С. В., Белик И. С., Стародубец Н. В.* Экологический потенциал наилучших доступных технологий // Экономика региона. 2012. № 4. С. 60–68. https://doi.org/10.17059/2012-4-6

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чащин Максим Ринатович

Аспирант кафедры экономики природопользования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID https://orcid.org/0000-0002-6582-5383 e-mail: f123503@yandex.ru

Магарил Елена Роменовна

Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой экономики природопользования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID https://orcid.org/0000-0003-3034-9978 e-mail: magaril67@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Чащин М. Р., Магарил Е. Р. Эколого-экономическая оценка обращения с твердыми коммунальными отходами на примере крупных городов России // Journal of Applied Economic Research. 2025. Т. 24, № 4. С. 1343–1370. https://doi.org/10.15826/vestnik.2025.24.4.044

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 22 апреля 2025 г.; дата поступления после рецензирования 7 июля 2025 г.; дата принятия к печати 14 августа 2025 г.

Environmental and Economic Approaches to Assessing Solid Waste Management in Large Cities in Russia

Maxim R. Chashchin ✉, ***Elena R. Magaril***

Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

✉ *f123503@yandex.ru*

Abstract. Improving the effectiveness of management decisions in the waste management industry is impossible without assessing its effectiveness by taking into account not only economic aspects but also the impact on the environment. The lack of comprehensive approaches to assessing municipal solid waste (MSW) management that would take into account environmental and economic aspects and the importance of having such approaches in the course of the transition to the principles of a closed-loop economy determines the relevance of research aimed at solving the problems of ecological and economic assessment of MSW. The aim of the research is to improve the methodological tools for ecological and economic assessment of MSW and to test them. The research is based on the hypothesis of the applicability of economic turnover approaches to the analysis of solid municipal waste management cycles, which could reveal their interconnection with general economic cycles and improve management efficiency. To test the hypothesis, an analysis of panel data on the activities of enterprises and regional solid municipal waste operators was used, as well as information from government reports on the state of the environment. A methodological approach to the ecological and economic assessment of solid municipal waste management was proposed and tested on the example of large cities in Russia, including the authors' proposed corrective industry indicators of environmental impact: carbon intensity and water intensity of the waste life cycle, as well as an indicator of the effectiveness of solid municipal waste management. A positive correlation has been identified between solid municipal waste management cycles and general economic cycles. Median values of key ecological and economic indicators of regional operators' activities have been calculated for comparative analysis. Recommendations have been substantiated for the application of economic incentives based on the flexible use of corrective indicators to improve the environmental and economic efficiency of the activities of industry players. The results obtained enable an environmental and economic assessment of solid municipal waste management, taking into account indicators of environmental intensity that are significant for the industry indicators of environmental intensity that are significant for the industry, which is especially important in the context of the transition to a closed-loop economy. They also make it possible to identify problematic stages of the management cycle, justify incentive measures, and form the basis for improving the management of solid municipal waste.

Key words: circular economy; sustainable development; investment mechanism; solid municipal waste management; ESG-indicators.

JEL Q50, Q53, R11

References

1. Reike, D., Vermeulen, W.J.V., Witjes, S. (2022). Conceptualization of Circular Economy 3.0: Synthesizing the 10R Hierarchy of Value Retention Options. *In: Towards a Circular Economy. Transdisciplinary Approach for Business.* Edited by A. Alvarez-Risco, M. A. Rosen, S. Del-Aguila-Arcentales. Springer Cham, 47–69. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94293-9_3

2. Potravny, I.M., Baah, D. (2021). Energy utilization of solid municipal waste in the context of low-carbon development. *Management Sciences,* Vol. 11, No. 3, 6–22. (In Russ.). https://doi.org/10.26794/2404-022X 2021-11-3-6-22

3. Wei, G., Beidou, X., Caihong, H., Jiaxi, L., Zhurui, T., Wei, L., Caiyun, M., Weixia, W. (2021). Solid Waste Management in China: policy and driving factors in 2004–2019. *Resources, Conservation and Recycling,* Vol. 173, 105727. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105727

4. Kurniawan, T.A., Liang, X., O'Callaghan, E., Goh H., Othman, M.H.D., Avtar, R., Kusworo, T.D. (2022). Transformation of Solid Waste Management in China: Moving towards Sustainability through Digitalization-Based Circular Economy. *Sustainability,* Vol. 14, Issue 4, 2374. https://doi.org/10.3390/su14042374

5. Vegera, S.A., Maley, E. B. Afanasyeva, E.Y., Sushko, O.A. (2022). Assessment of the efficiency of industrial waste management as part of the strategy of sustainable development of the enterprise. *Bulletin of Polotsk State University,* No. 6, 2–12. (In Russ.). https://doi.org/10.52928/2070-1632-2022-61-6-2-12

6. Kolesnikov, R.V. (2021). Formation of the system of indicators for socio-ecological-economic assessment of the regional system of solid municipal waste handling. *St. Petersburg Economic Journal,* No. 4, 103–115. (In Russ.). https://doi.org/10.24412/2307-5368-2021-4-103-115

7. Molokov, M.A. (2024). Integrated system of MSW handling in the Russian Federation: problems of interpretation and formation. *Finance and Management,* No. 1, 59–71. (In Russ.). https://doi.org/10.25136/2409-7802.2024.1.70175

8. Treiman, M.G., Ignatova, D.Yu. (2022). Analysis of environmental and economic situation in the market of waste management in the Russian Federation. *Scientific Journal of NIU ITMO. Series "Economics and Environmental Management",* No. 3, 33–41. (In Russ.). https://doi.org/10.17586/2310-1172-2022-17-3-33-41

9. Chashchin, M.R. (2023). Improvement of solid municipal waste handling under inter-sectoral planning of circular economy. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law,* Vol. 13. No. 2, 427–446. (In Russ.). https://doi.org/10.18334/epp.13.2.117111

10. Chashchin, M.R. (2023). Justification of barriers of rating agencies' evaluation criteria in the sphere of solid municipal waste handling. *World and National Economy,* No. 3, 87–123. (In Russ.). Available at: https://mirec.mgimo.ru/2023/2023-03/solid-municipal-waste-management-rating

11. Merzlikina, G.S. (2019). Economic efficiency of ecological health of the region. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies,* Vol. 81, No. 2, 312–319. (In Russ.). https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-312-319

12. Tskhovrebov, E.S., Niyazgulov, U.D. (2021). Conceptual directions of development of engineering and technical systems of life support of urban economy in the field of waste management. *Izvestiya Vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost,* Vol. 11, No. 1, 94–111. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-94-111

13. Dyakov, M.Yu. (2021). Circular economy model as a promising direction of transition to regional ecological and economic balance. *Management,* Vol. 9, No. 4, 75–87. (In Russ.). https://doi.org/10.26425/2309-3633-2021-9-4-75-87

14. Semyachkov, A.I., Gao, J., Atamanova, E. A. (2021). Management of natural resource potential of the region based on the variability of environmental and economic indicators. *Economy of Regions,* Vol. 17, No. 2, 520–537. (In Russ.). https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-2-12

15. Karaeva, A.P., Magaril, E.R., Kiselev, A.V., Cioca, L.-I. (2022). Screening of Factors for Assessing the Environmental and Economic Efficiency of Investment Projects in the Energy Sector. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* Vol. 19, Issue 18, 11716. https://doi.org/10.3390/ijerph191811716

16. Karaeva, A., Magaril, E. (2023). Considering Waste Generation in the Energy Sector during the Transition to a Circular Economy. *Recycling,* Vol. 8, Issue 2, 42. https://doi.org/10.3390/recycling8020042

17. Ermolaeva, Yu.V. (2019). Modernization of the waste management sector in Russia: the field of expert analysis. *Bulletin of the Institute of Sociology,* Vol. 10, No. 3, 131–150. (In Russ.). https://doi.org/10.19181/vis.2019.30.3.596

18. Taelman, S.E., Tonini, D., Wandl, A., Dewulf J. (2018). A Holistic Sustainability Framework for Waste Management in European Cities: Concept Development. *Sustainability,* Vol. 10, Issue 7, 2184. https://doi.org/10.3390/su10072184

19. Paes, M.X., de Medeiros, G.A., Mancini, S.D., Bortoleto, A.P., de Oliveira, J.A.P., Kulay, L.A. (2020). Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production,* Vol. 254, 119848. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119848

20. Llanquileo-Melgarejo, P., Molinos-Senante, M., Romano, G., Carosi, L. (2021). Evaluation of the Impact of Separative Collection and Recycling of Municipal Solid Waste on Performance: An Empirical Application for Chile. *Sustainability,* Vol. 13, Issue 4, 2022. https://doi.org/10.3390/su13042022

21. Abdeljaber, A., Zannerni, R., Masoud, W., Abdallah, M., Rocha-Meneses L. (2022). Eco-Efficiency Analysis of Integrated Waste Management Strategies Based on Gasification and Mechanical Biological Treatment. *Sustainability,* Vol. 14, Issue 7, 3899. https://doi.org/10.3390/su14073899

22. Dvinin, D.Yu., Davankov, A.Yu. (2024). Integrated environmental and economic assessment of low-carbon energy sources. *Journal of Applied Economic Research,* Vol. 23, No. 3, 696–720. (In Russ.). https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.028

23. Yang, N., Li, F., Liu, Y., Dai, T., Wang, Q., Zhang, J., Dai, Z., Yu, B. (2022). Environmental and Economic Life-Cycle Assessments of Household Food Waste Management Systems: A Comparative Review of Methodology and Research Progress. *Sustainability,* Vol. 14, Issue 13, 7533. https://doi.org/10.3390/su14137533

24. Kouassi, H.K., Murayama, T., Ota, M. (2022). Life Cycle Analysis and Cost–Benefit Assessment of the Waste Collection System in Anyama, Cote d'Ivoire. *Sustainability,* Vol. 14, Issue 20, 13062. https://doi.org/10.3390/su142013062

25. Berardocco, C., Delawter, H., Putzu, T., Wolfe, L.C., Zhang, H. (2022). Life Cycle Sustainability Assessment of Single Stream and Multi-Stream Waste Recycling Systems. *Sustainability,* Vol. 14, Issue 24, 16747. https://doi.org/10.3390/su142416747

26. Le, P.G., Le, H.A., Dinh, X.T., Nguyen, K.L.P. (2023). Development of Sustainability Assessment Criteria in Selection of Municipal Solid Waste Treatment Technology in Developing Countries: A Case of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Sustainability,* Vol. 15, Issue 10, 7917. https://doi.org/10.3390/su15107917

27. Motorin, D.E. (2022). Separate collection of wastes in the context of reforming the industry of solid municipal waste management. municipal wastes. *Actual Problems of the Russian Law,* Vol. 17, No. 1, 178–188. (In Russ.). https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.134.1.178-188

28. Koroleva, L.P. (2017). The contribution of recycling to neo-industrial development: classification of effects. *Scientific Journal of NIU ITMO. Series "Economics and Environmental Management",* No. 2, 29–38. (In Russ.). https://doi.org/10.17586/2310-1172-2017-10-2-29-38

29. Leydesdorff, L. (2021). Evolutionary and Institutional Triple Helix Models. *In: The Evolutionary Dynamics of Discursive Knowledge. Communication-Theoretical Perspectives on an Empirical Philosophy of Science.* Springer Cham, 89–113. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59951-5_5

30. Bondarenko, N.E., Dubovik, M.V., Gubarev, R.V. (2018). Triple helixas the basis for the creation of innovation systems. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics,* No. 2, 3–15. (In Russ.). https://doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-3-15

31. Osterwalder, A., Pigneur, Y. (2013). Designing Business Models and Similar Strategic Objects: The Contribution of IS. *Journal of the Association for Information Systems,* Vol. 14, Issue 5, 237–244. https://doi.org/10.17705/1jais.00333

32. Osterwalder, A., Pigneur, Y., Tucci, C.L. (2005). Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept. *Communications of the Association for Information Systems,* Vol. 16, 1–25. https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601

33. Delgado, M., Porter, M. (2021). Clusters and the Great Recession. *SSRN Electronic Journal.* https://doi.org/10.2139/ssrn.3819293

34. Stenroos, A., Welathanthri, M.D., Ranta, V. (2021). What Is the Customer Value of the Circular Economy? Cross-Industry Exploration of Diverse Values Perceived by Consumers and Business Customers. *Sustainability,* Vol. 13, Issue 24, 13764. https://doi.org/10.3390/su132413764

35. Gitelman, L.D., Kozhevnikov, M.V. (2023). Conceptual Vision of the Energy Transition in the Regional Electric Power System in New Realities. *Economy of Regions,* Vol. 19, No. 3, 844–859. (In Russ.). https://doi.org/10.17059/ekon. reg.2023-3-17

36. Jan, J., Zailani, S. (2010). Antecedent and outcomes study on green value chain initiatives: a perspective from sustainable development and sustainable competitive advantage. *International Journal of Value Chain Management,* Vol. 4, No. 4, 319–364. https://doi.org/10.1504/IJVCM.2010.036992

37. Razzaq, A., Sharif, A., Najmi, A., Tseng, M.-L., Lim, M.K. (2021). Dynamic and causality interrelationships from municipal solid waste recycling to economic growth, carbon emissions and energy efficiency using a novel bootstrapping autoregressive distributed lag. *Resources, Conservation and Recycling,* Vol. 166, 105372. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105372

38. Garibay-Rodriguez J., Laguna-Martinez M. G., Rico-Ramirez V., Botello-Alvarez J. E. (2018). Optimal municipal solid waste energy recovery and management: A mathematical programming approach. *Computers & Chemical Engineering,* Vol. 119, 394–405. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.09.025

39. Karelov, S., Belik, I., Starodubets, N. (2012). Ecological potential of the best available technologies. *Economy of Regions,* No. 4, 60–68. (In Russ.). https://doi.org/10.17059/2012-4-6

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Maxim Rinatovich Chashchin

Post-Graduate Student, Department of Environmental Economics, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID https://orcid.org/0000-0002-6582-5383 e-mail: f123503@yandex.ru

Elena Romenovna Magaril

Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Environmental Economics, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID https://orcid.org/0000-0003-3034-9978 e-mail: magaril67@mail.ru

FOR CITATION

Chashchin, M.R., Magaril, E.R. (2025). Environmental and Economic Approaches to Assessing Solid Waste Management in Large Cities in Russia. J*ournal of Applied Economic Research,* Vol. 24, No. 4, 1343–1370. https://doi.org/10.15826/vestnik.2025.24.4.044

ARTICLE INFO

Received April 22, 2025; Revised July 7, 2025; Accepted August 14, 2025.