



DOI: 10.22363/2313-2329-2024-32-4-709-724

EDN: LTTBCD

УДК 338.3


Научная статья / Research article

Индекс декарпинга как индикатор эколого-экономической устойчивости системы обращения с твердыми коммунальными отходами в г. Москве

А.И. Курбатова¹  , Е.В. Савенкова¹, Х. Абу-Кдэйс²

¹Российский университет дружбы народов,
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

²Иорданский университет науки и технологий,
Иордания, 22110, Ирбид

 kurbatova-ai@rudn.ru

Аннотация. Для количественной оценки устойчивости системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) используется индекс декарпинга (DI), отражающий эффект рассогласования прямой зависимости между показателями экономического роста и потреблением природных ресурсов (производством загрязнений). Впервые рассчитан DI для системы управления ТКО г. Москвы с целью эколого-экономической оценки устойчивости системы. В основу методологии исследования положена численная оценка декарпинга в течение определенного периода времени с использованием соотношения, предложенного ЮНЕП. Расчеты показали, что образование отходов за период 2020–2023 гг. и рост валового регионального продукта проявляют относительный декарпинг, за исключением периода 2021–2022 гг., когда наблюдалось резкое уменьшение сгенерированных ТКО почти в 0,7 раз и имел место абсолютный декарпинг, что указывает на положительный вектор развития системы управления ТКО в Москве в рамках экономики замкнутого цикла. Рассчитано количество предотвращенных эмиссий парниковых газов в отрасли управления ТКО в результате выполнения целевых показателей по сокращению объема захораниваемых отходов. DI как метод исследования предлагается в качестве инструмента оценки эколого-экономической устойчивости системы управления ТКО не только Москвы, но и других городов для разработки будущих сценариев политики по устойчивому управлению ТКО в ближайшем будущем.

Ключевые слова: система управления твердыми коммунальными отходами, ТКО, управление ТКО, индекс декарпинга

© Курбатова А.И., Савенкова Е.В., Абу-Кдэйс Х., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов. Курбатова А.И. — концепция и дизайн исследования, написание текста; Савенкова Е.В. — сбор и обработка материалов; Абу-Кдэйс Х. — анализ полученных данных, написание текста.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 20 июля 2024 г., проверена 30 августа 2024 г., принята к печати 12 сентября 2024 г.

Для цитирования: Курбатова А.И., Савенкова Е.В., Абу-Кдэйс Х. Индекс декаплинга как индикатор эколого-экономической устойчивости системы обращения с твердыми коммунальными отходами в г. Москве // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2024. Т. 32. № 4. С. 709–724. <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2024-32-4-709-724>

Decoupling Index as an indicator of the ecological and economic sustainability of the solid municipal waste management system: Case study of Moscow

Anna I. Kurbatova¹  , Elena V. Savenkova¹, Hani Abu-Qdais² 

¹*RUDN University,
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

²*Jordan University of Science and Technology,
Irbid, 22110, Jordan*

 kurbatova-ai@rudn.ru

Abstract. To assess the sustainability of the municipal solid waste management system (MSW), decoupling index is used. This index reflects the impact of mismatch of the direct relationship between economic growth and consumption of natural resources (pollution production). For the first time, the authors calculated the decoupling index for Moscow MSW management system in order to assess the environmental and economic sustainability of the system. The methodology of the study was based on a numerical assessment of decoupling over a certain period of time using the ratio proposed by UNEP. Calculations of the decoupling index for the municipal solid waste management system in Moscow have shown relative decoupling between the solid waste generation in the city for the period 2020–2023 and the growth of the gross regional, with the exception of the period 2021–2022, when there was a sharp decrease in condensed municipal solid waste by almost 0.7 times and absolute decoupling took place. This indicates improvements in the MSW management system in Moscow within the framework of a circular economy. The study assessed the magnitude of the mitigated greenhouse gas emissions as a result of meeting targets by diverting MSW from landfills. The approach used to assess the decoupling index for Moscow, can serve as a useful tool for assessing the environmental and economic sustainability of the MSW management system of other cities to develop future policy scenarios for sustainable MSW management in the near future.

Keywords: solid municipal waste management system, MSW, MSW management, decoupling index

Authors' contribution. Kurbatova A.I. — the concept and design of the study, writing the text; Savenkova E.V. — collection and processing of materials; Abu-Qdais H. — analysis of the received data, writing the text.

Conflicts of interest. The authors declare no conflict of interests.

Article history: received 20 July 2024; revised 30 August 2024; accepted 12 September 2024.

For citation: Kurbatova, A.I., Savenkova, E.V., & Abu-Qdais, H. (2024). Decoupling Index as an indicator of the ecological and economic sustainability of the solid municipal waste management system: Case study of Moscow. *RUDN Journal of Economics*, 32(4), 709–724. (In Russ.). <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2024-32-4-709-724>

Введение

На принципах минимизации потребления невозобновимых ресурсов и воздействия на окружающую среду базируется экономика замкнутого цикла¹. Важная роль создания устойчивой системы управления твердыми коммунальными отходами (ТКО) не только нашла свое отражение в принципах экономики замкнутого цикла, но и четко определена в ЦУР 12 «Обеспечение рациональных моделей потребления и производства». Данная цель устойчивого развития направлена на эффективное использование природных ресурсов (целевой показатель 12.2). Она связана с проблемами снижения уровня загрязнения окружающей среды посредством предупредительных мер, повторного использования отходов (целевой показатель 12.5) и уменьшения выброса загрязняющих, в особенности химических веществ (целевой показатель 12.4)². Для количественной оценки уменьшения природоемкости отрасли применяется индекс декаплинга (DI), отражающий эффект рассогласования прямой зависимости между показателями экономического роста и потреблением природных ресурсов (производством загрязнений). Результаты должны расти быстрее, чем вовлечение в экономический оборот ресурсов и выход загрязнений, т.е. декаплинг описывает ситуации, когда процессы, имеющие прямую корреляционную связь, начинают развиваться в противоположных направлениях (Шмелева, 2023). В рамках эко-ориентированного подхода можно сказать, что расчет степени расхождения трендов, как меры разъединения — информативный индикатор успеха циркулярной политики устойчивого развития (Валько, 2020).

Взаимосвязь между экономическим ростом и использованием ресурсов впервые затронута в контексте теории анализа материальных потоков и экологической кривой Кузнецца, которая представляет собой теоретическую U-образную зависимость между выбросами загрязняющих веществ

¹ Савенкова Е.В., Курбатова А.И. Экономика замкнутого цикла и устойчивое управление отходами : учебник для вузов. М. : Юрайт, 2024. 193 с.

² Цель 12 — Обеспечение устойчивых моделей потребления и производства: обязательное требование к устойчивому развитию. Хроника ООН. URL: <https://www.un.org/ru/chronicle/article/22181> (дата обращения 15.07.2024)

и экономическим ростом (Fischer-Kowalski, Amann, 2001). В то же время для оценки стабильности социально-экономических систем со времен исследований Дениса Медоуза (Hines, 2005) в 1970-х гг. используется подход, который соотносит темпы экономического роста, потребление невозобновляемых ресурсов и воздействие человека на окружающую среду. Таким образом, попытки рассчитать расхождение темпов экономического роста и темпов потребления ресурсов или загрязнения окружающей среды являются ответами на вопрос, носит ли экономическая деятельность экстенсивный характер или наблюдается снижение антропогенного прессинга. Модели декарпинга широко используются для анализа взаимосвязи между экономическим ростом и использованием ресурсов, потреблением энергии, выбросами парниковых газов и землепользованием.

Изучение эффективности управления отходами и экологической политики на основе моделей декарпинга во втором десятилетии XXI в. стало новой областью исследований. При анализе релевантных российских научных работ по тематике расчета DI мы установили, что к основным направлениям относятся: расчет индекса декарпинга для определения устойчивого развития природохозяйственной деятельности (Фомина, 2022; Акулов, 2013; Баширова, 2013; Чумаков, Фесенко, Горбунова, 2018), оценки системы регионального управления (Шкиперова, Курило, 2014; Нургисаева, Таменова, 2022), планирования управления экономикой замкнутого цикла (Башмаков, 2020). Что касается применения DI для оценки устойчивости систем управления ТКО, то основные работы посвящены страновому аспекту, где анализ ситуации ведется для всей страны в целом или в сравнении с другими государствами (Селищева, 2018; Мишулина, 2019; Закондырин, Липина, 2022; Starodubets, Belik, Alikberova, 2022). Авторы (Starodubets, Belik, Alikberova, 2022) применили индекс декарпинга для оценки устойчивости системы управления ТКО для России в целом.

Расчеты индекса развязки показали, что, несмотря на реформирование отрасли и постепенный переход системы обращения с ТКО в зону абсолютной стабильности, быстрого снижения объема ТКО, размещаемых на полигонах и отправляемых на переработку, не наблюдается. В (Wang, Zhu, Zhang, 2021) использовался метод анализа декарпинга П. Тапио «The Decoupling Diamond» и эмпирическая модель экологической кривой Кузнеця для анализа связи между образованием ТКО и экономическим развитием в 285 городах Китая с 2002 по 2017 г. В исследовании (Mazzanti, Nicolli, 2011) представлен всесторонний анализ динамики образования ТКО и упаковочных материалов в ЕС. Полученные данные предоставляют возможность для формирования политики, поскольку в них анализируется степень, в которой произошло рассогласование (декарпинг) двух потоков отходов, и эффективность влияния политики ЕС в области отходов на соотношение образования отходов и полученных доходов с 1995 г. В исследовании (Chen X. et al, 2014) оценили устойчивость управления ТКО в Китае на основе модели декарпинга, автор (Pu, 2021) дополнительно проанализировал факторы, влияющие на декарпинг между производством твердых отходов и экономическим ростом. В (Sjöström, Östblom, 2010) описано исследование взаимос-

вязи между производством твердых отходов и экономическим ростом в Швеции и сравнение показателей интенсивности образования отходов в «сценарии декарпинга» и «базовом сценарии» шведской экономики на 2006–2030 гг., чтобы проиллюстрировать эффективность политических мер, необходимых для достижения этой цели. В проанализированных исследованиях с использованием модели декарпинга охарактеризованы одновременные изменения производства отходов (выбросами) и экономического роста с акцентом на твердые муниципальные отходы, бытовые отходы и переработку отходов, что обеспечивает важную основу для принятия решений в области национальной, региональной, а также городской политики.

Цель исследования — изучение характера взаимосвязи между экономическим ростом и образованием ТКО, а также количеством захороненных отходов в системе управления ТКО г. Москвы с помощью индекса декарпинга.

Материалы и методы

DI позволяет быстро оценить устойчивость системы обращения с ТКО и ее динамику. Численная оценка декарпинга в течение определенного периода времени может быть рассчитана с использованием соотношения, предложенного ЮНЕП³, которое основано на оценке DI. Значение DI определяется соотношением изменения уровня потребления данного ресурса (уровня антропогенного воздействия на окружающую среду) и изменения темпов экономического роста в течение определенного периода времени (обычно одного года) (Montevecchi, 2016).

$$DI (TKO)_t = (TKO_t - TKO_{t-1}) / TKO_{t-1} / (BPI_t - BPI_{t-1}) / BPI_{t-1},$$

где $DI (TKO)_t$ — это индекс декарпинга, рассчитанный для системы управления ТКО за год t , который характеризует устойчивость системы управления ТКО в год t ; TKO_t — объем ТКО, образованных в год t , млн т (отправленных на захоронение в год t , млн т); TKO_{t-1} — объем ТКО, образованных в год $t - 1$, млн т (отправленных на захоронение в год $t - 1$, млн т); BPI_t — валовый региональный продукт за год t , млрд руб.; BPI_{t-1} — валовый региональный продукт за год $t - 1$, в млрд руб. (Starodubets, Belik, Alikberova, 2022).

Если $DI_t > 1$, то темпы роста потребления ресурсов или загрязнения выше, чем темпы экономического роста, и декарпинг не наблюдается. Если $DI_t = 1$, то потребление ресурсов или загрязнения растут теми же темпами, что и конечные показатели, это переходная точка от зависимости экономического роста от экологического фактора к декарпингу. Если $0 \leq DI_t < 1$, то потребление ресур-

³ United Nations Environment Programme. International Resource Panel, United Nations Environment Programme. Sustainable Consumption, Production Branch. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. UNEP/Earthprint, 2011. URL: <https://www.unep.org/resources/report/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth-0> (дата обращения: 17.07.2024)

сов или загрязнения растут более медленно, чем темпы экономического роста, наблюдается относительный декаплинг. Если $DI_t < 0$, то экономический рост (если он имеет место), сопровождается снижением загрязнения окружающей среды или потребления ресурсов, имеет место абсолютный декаплинг.

Для расчета DI для системы управления ТКО в г. Москве использовали отчетные данные по форме 2-ТП (отходы) за период 2020–2023 гг., представленные в открытом доступе на сайте Федеральной службы по надзору в сфере природопользования⁴. В качестве макроэкономического показателя динамики экономической деятельности был использован показатель валового регионального продукта г. Москвы за период 2000–2023 гг., представленный в открытом доступе на сайте Федеральной службы государственной статистики⁵ (табл. 1, 2).

Таблица 1

Показатели валового регионального продукта (ВРП) г. Москвы за период 2020–2023 гг.

Год	2020	2021	2022	2023
ВРП, млрд руб.	20261	24471	27250	30090

Источник: составлено А.И. Курбатовой, Е.В. Савенковой, Х. Абу-Кдэйс по сборнику «Национальные счета России». URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13221> (дата обращения: 30.07.2024).

Table 1

Indicators of the gross regional product (GRP) of Moscow for the period 2020–2023

Year	2020	2021	2022	2023
GRP, billion rubles	20261	24471	27250	30090

Source: compiled by A.I. Kurbatova, E.V. Savenkova, H. Abu-Qdais based on the data National Accounts of Russia Retrieved 30.07, 2024, from URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13221>

Таблица 2

Показатели воздействия на окружающую среду (этапы обращения с твердыми коммунальными отходами в г. Москве) за период 2020–2023 гг.

Этапы обращения с ТКО	2020	2021	2022	2023
Объем образовавшихся ТКО, млн т	5 022 663	5 193 500	3 739 632	3 784 597
Объем ТКО, отправленных на захоронение, млн т	1 728 705	1 186 339	505 208	180 832

Источник: составлено А.И. Курбатовой, Е.В. Савенковой, Х. Абу-Кдэйс по отчету «Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления». URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 30.07.2024).

⁴ Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления. URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения 30.07.2024)

⁵ Национальные счета России. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13221> (дата обращения 30.07.2024)

Table 2

Environmental impact indicators (stages of solid municipal waste management in Moscow) for the period 2020–2023

Stages of MSW management	2020	2021	2022	2023
Amount of MSW generated, Million Tons	5 022 663	5 193500	3 739632	3 784597
Amount of MSW sent to landfills, Million Tons	1 728 705	1 186339	505208	180832

Source: compiled by A.I. Kurbatova, E.V. Savenkova, H. Abu-Qdais based on the data of Information on the generation, treatment, utilization, neutralization, disposal of production and consumption waste. Retrieved 30.07, 2024, from URL: http://rpn.gov.ru/открытый_сервис/analytical_data/statistics-reports/production-consumption_waste/

Результаты и обсуждение

Расчеты индекса декаплинга для системы управления ТКО в Москве показали (табл. 3), что образование отходов в городе за период 2020–2023 гг. и рост валового регионального продукта проявляют относительный декаплинг, за исключением периода 2021–2022 гг., когда наблюдалось резкое уменьшение сгенерированных ТКО почти в 0,7 раз и имел место абсолютный декаплинг, что характеризует положительный вектор развития системы управления ТКО в городе в рамках экономики замкнутого цикла. Однако эти временные колебания не указывают на то, что это повлияло на разделение, поскольку показатель декаплинга DI образования отходов остается значительно ниже единицы. Схожие результаты получены в (Inglezakis et al., 2012), где был рассчитан DI между ВВП и объемом образующихся ТКО для стран ЕС. По мнению авторов (Inglezakis et al., 2012), разрыв связи происходит, когда темпы роста экологически значимой переменной (например, образования отходов) за определенный период меньше, чем темпы роста ее экономической движущей силы (например, ВВП). В работе (Chen et al., 2014) индекс декаплинга был рассчитан между ВВП и образованием отходов для Китая в периоды 1993–1994 и 2000–2001 гг., наблюдалась значительная отрицательная зависимость (низкое рассогласование), обусловленная тем, что образование отходов увеличивалось быстрее (более чем в 1,2 раза), чем экономический фактор.

Таблица 3

Индекс декаплинга для системы управления твердыми коммунальными отходами г. Москвы за период 2020–2023 гг.

Индекс декаплинга	2020–2021	2021–2022	2022–2023
DI (Объем образовавшихся ТКО, млн т)	0,15	–2,46	0,118
DI (Объем ТКО, отправленных на захоронение, млн т)	–1,35	–5,04	–6,27

Источник: составлено по расчетам А.И. Курбатовой, Е.В. Савенковой, Х. Абу-Кдэйс.

**Decoupling index for the solid municipal waste management system in Moscow
for the period 2020–2023**

Decoupling index	2020–2021	2021–2022	2022–2023
DI (Amount of MSW generated, Million Tons)	0.15	–2.46	0.118
DI (Amount of MSW sent to landfill, Million Tons)	–1.35	–5.04	–6.27

Source: compiled according to the calculations of A.I. Kurbatova, E.V. Savenkova, H. Abu-Qdais.

Достижение относительного декаплинга для отрасли обращения с отходами мегаполиса Москвы является результатом взаимодействия законодательных и экономических инструментов: системы сбора отходов, внедрения национального законодательства о захоронении и вторичной переработке отходов, реформы расширенной ответственности производителя. Запреты и ограничения на существующие полигоны Московской области привели к уменьшению количества захораниваемых отходов и достижению абсолютного декаплинга в период 2020–2023 гг. (рис. 1, 2). Все это стало возможным благодаря комплексному подходу, который включает в себя грамотное сочетание информационных кампаний, внедрения двухпоточной системы сбора, инвестиций в комплексы по переработке отходов. Можно также утверждать, что применение одних и тех же инструментов по отдельности не привело бы к таким результатам.

По данным (Wei et al., 2021) Москва находится на 7 месте в мире по выбросам парниковых газов. Ежегодно столица выбрасывает в атмосферу более 110 млн т CO₂-экв. Более 70 % городских выбросов парниковых газов связано с энергетикой, на отрасль управления отходами приходится около 4 %. Однако, ТКО является третьим по величине источником антропогенных выбросов метана в мире, что при одновременном росте численности населения в городах может быть важным фактором, влияющим на климат. Наблюдаемая динамика снижения объема захораниваемых ТКО в г. Москве отражается на степени воздействия системы управления отходами на климат, что выражается в снижении выбросов парниковых газов в CO₂-экв. Согласно исследованию (Vinitskaia et al., 2021), объем парниковых газов в CO₂-экв., выделяющийся с объектов захоронения отходов г. Москвы, без системы сжигания свалочного газа в высокофакельных установках, составляет 0,65 т CO₂-экв.

В (Abu-Qdais, Kurbatova, 2022) авторы, используя методологию оценки жизненного цикла, определили, что эмиссия парниковых газов составляет 0,5 т с 1 т захораниваемых отходов для объекта размещения отходов в Московской области. Также в научном исследовании (Kaazke et al, 2013) оценили выбросы парниковых газов с полигонов в Ханты-Мансийске, которые составили 0,25 т CO₂-экв. с 1 т захораниваемых отходов. Значительное сни-

жение выбросов парниковых газов в Ханты-Мансийске с полигонов обусловлено климатическими характеристиками региона и низкой скоростью метаногенеза в толще свалочного тела. С использованием данных (Abu-Qdais, Kurbatova, 2022) мы рассчитали предотвращенные эмиссии парниковых газов при уменьшении объемов захоронения отходов в системе управления ТКО г. Москвы за период 2020–2023 гг. (рис. 3).

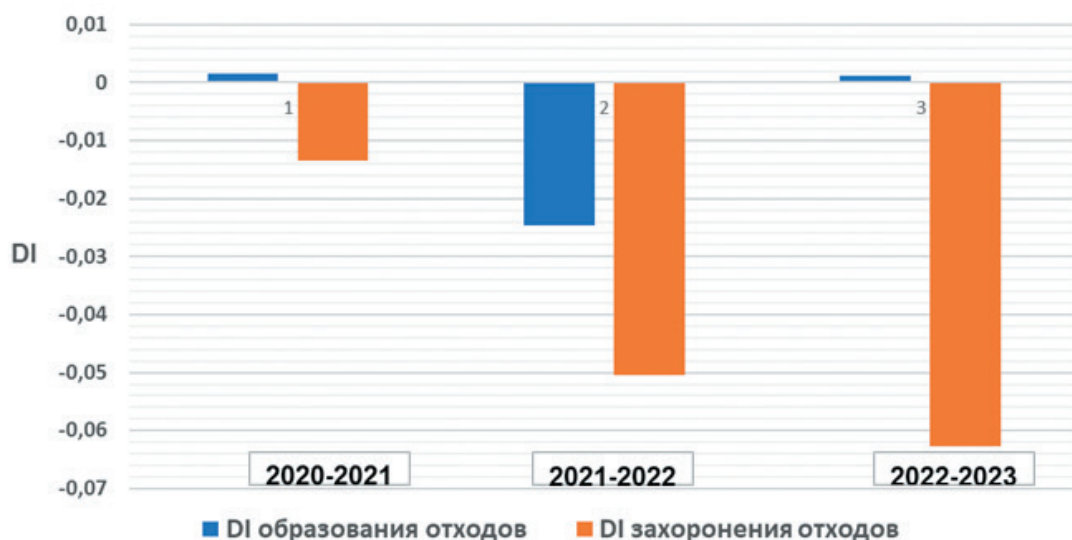


Рис. 1. Индекс декаплинга DI для системы управления ТКО, г. Москва, 2020–2023 гг.
 Источник: составлено по расчетам А.И. Курбатовой, Е.В. Савенковой, Х. Абу-Кдэйс.

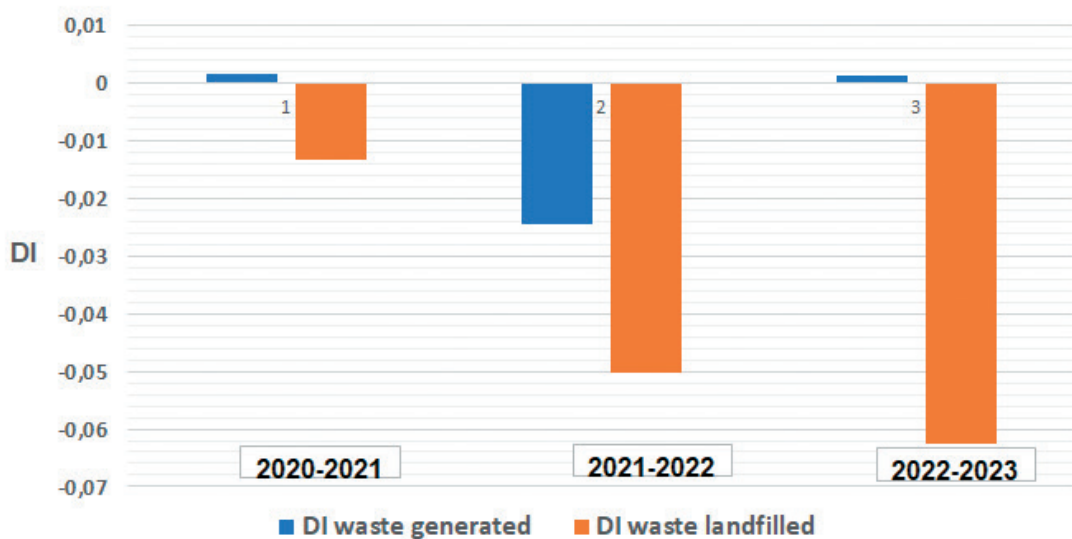


Figure 1. Decoupling index DI for the MSW management system, Moscow, 2020–2023
 Source: compiled according to the calculations of A.I. Kurbatova, E.V. Savenkova, H. Abu-Qdais.

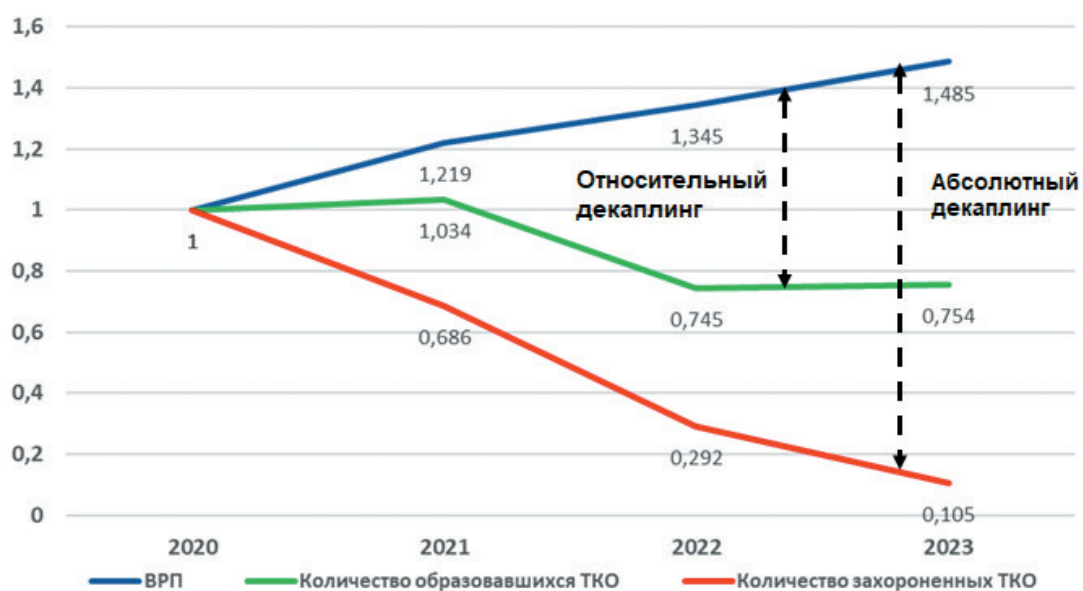


Рис. 2. Индекс декаплинга DI для объема образовавшихся ТКО, для объема захороненных ТКО в период 2020–2023 гг., г. Москва: ось Oy — «базовая линия» — 2020 г., принята за 1

Источник: составлено по расчетам А.И. Курбатовой, Е.В. Савенковой, Х. Абу-Кдэйс.

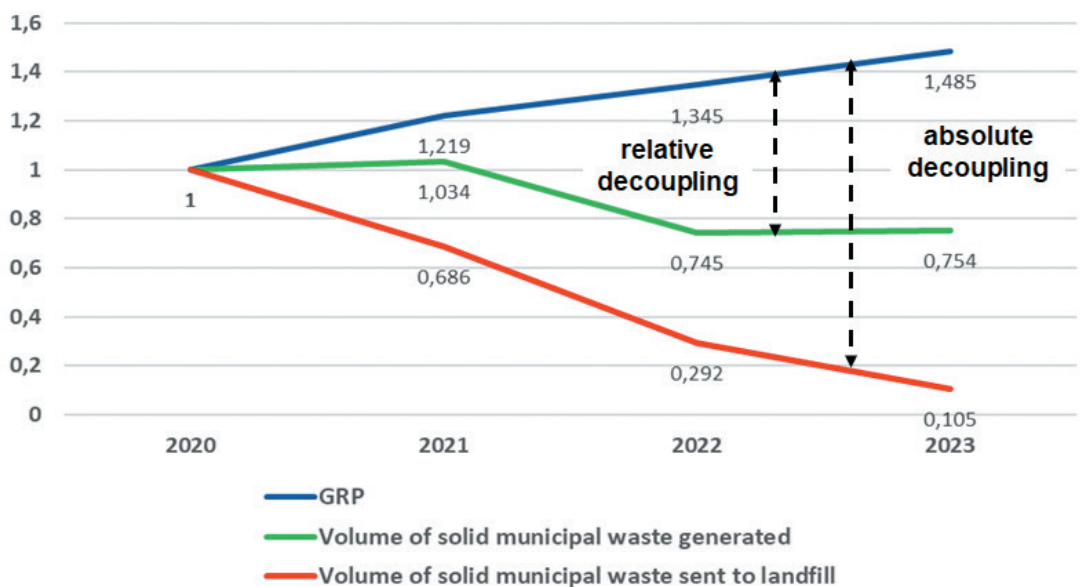


Figure 2. Decoupling index for the volume of generated MSW, for the volume of landfilled MSW in the period 2020–2023, Moscow: The axis of the Oy “baseline” — 2020, taken as 1

Source: compiled according to the calculations of A.I. Kurbatova, E.V. Savenkova, H. Abu-Qdais.

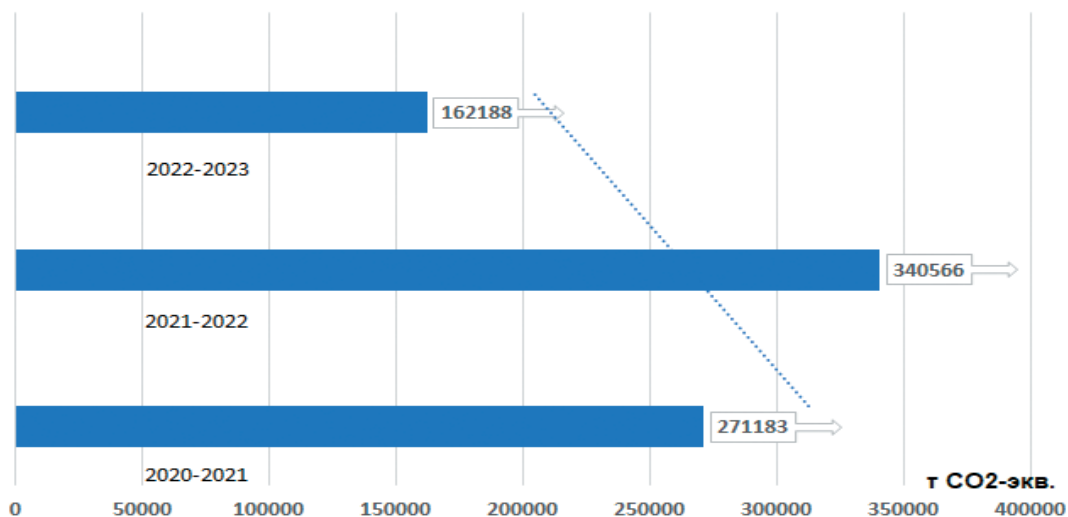


Рис. 3. Предотвращенные эмиссии парниковых газов, т CO₂-экв., при уменьшении объемов захораниваемых ТКО в г. Москве

Источник: составлено по расчетам А.И. Курбатовой, Е.В. Савенковой, Х. Абу-Кдэйс.

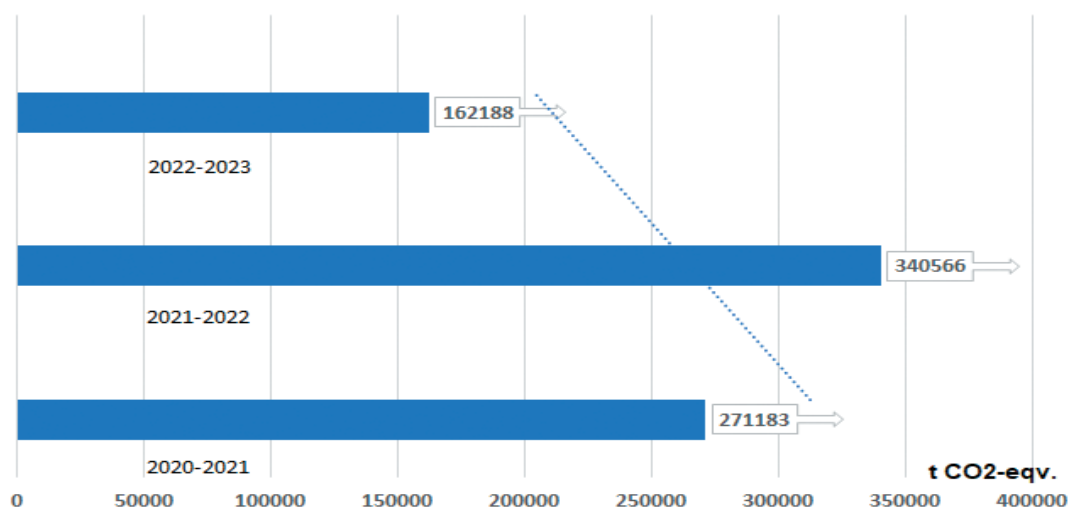


Figure 3. Mitigated greenhouse gas emissions (tons of CO₂-eq) as result by reducing the volume of landfilled municipal solid waste in Moscow

Source: compiled according to the calculations of A.I. Kurbatova, E.V. Savenkova, H. Abu-Qdais.

В результате выполнения ключевых показателей «Комплексной системы обращения с ТКО» по уменьшению доли захороненных ТКО, в системе управления отходами для г. Москвы в период с 2021–2022 гг. объем предотвращенных эмиссий составил 340566 т CO₂-экв., что в 1,3 раза больше, чем за период 2020–2021 гг. (см. рис. 3). В 2022–2023 гг. объем предотвращенных эмиссий

снижается за счет сокращения темпов захоронения ТКО в данном периоде. Сокращение объема захораниваемых отходов является важным фактором митигации климата в отрасли управления ТКО.

Заключение

Анализ тематического исследования показывает, что в период с 2020 по 2023 г. наблюдался абсолютный декаплинг между размещением отходов на полигонах и валовым региональным продуктом г. Москвы. В этот же период наблюдается относительный декаплинг между валовым региональным продуктом и образованием отходов, что может говорить об устойчивости системы управления отходами в г. Москве, так как в количественном выражении конечные показатели растут, а экологические — снижаются. Драйверы в достижении абсолютного декаплинга — внедрение современных инноваций в области низкоуглеродного развития, переход от технологий «на конце трубы» к экологически чистым технологиям, внедрением бизнес-моделей циркулярной экономики, а также формирование научно-технического потенциала в области управления отходами.

Важную роль в создании устойчивой системы управления отходами играют совершенствование существующих и разработка новых нормативных документов, способствующих переходу к экономике замкнутого цикла, а также усилению роли законодательных инициатив в области управления отходами не только в мегаполисах, но и других городах регионов России. Учитывая полученные результаты для г. Москвы, следует отметить, что политика в области управления отходами должна быть ориентирована на достижение абсолютного декаплинга воздействия, выражающегося в динамичном снижении эмиссий за счет развития рынка вторичного сырья из утилизированных отходов, т.е. вовлечения отходов в ресурсный цикл и их максимальное использование на основе наилучшей доступной технологии в рамках создания эколого-технологических коридоров. Для поддержания благоприятной среды для человека необходимо стимулировать внедрение стандартов государственных зеленых закупок, включая широкое распространение экомаркировок I типа. Важным звеном в создании устойчивой системы управления ТКО — внедрение современных методов мониторинга окружающей среды и здоровья населения при воздействии отрасли обращения с отходами, включая использование беспилотных летательных аппаратов в сочетании с искусственным интеллектом. Особую значимость для экологизации отрасли управления отходами представляют научные разработки, направленные на снижение углеродных эмиссий, загрязняющих веществ путем создания малоотходных ресурсо- и энергосберегающих технологий.

Индекс декаплинга, используемый как метод исследования, предлагается в качестве инструмента для оценки эколого-экономической устойчивости системы управления ТКО не только в г. Москве, но и в других городах с целью разработки сценариев политики по устойчивому управлению ТКО в ближайшем будущем.

Список литературы

- Акулов А.О. Эффект декаплинга в индустриальном регионе (на примере Кемеровской области) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 4 (28). С. 177–185.
- Баширова А.А. Определение эффекта декаплинга для проблемных территорий в современных условиях (на примере субъектов СКФО) // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2016. № 10 (92). С. 4.
- Башимаков И.А. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // Вопросы экономики. 2020. Т. 7. С. 51–74. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>
- Валько Д.В. Устойчивое развитие и циркулярная экономика: межстрановое измерение // Управление в современных системах. 2020. № 1 (25). С. 3–12.
- Закондырин А.Е., Липина С.А. Экологические концепции: сравнительный анализ // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 4 (136). С. 7–14.
- Мишулина С.И. «Зеленые» инвестиции как элемент механизма экологизации региональной экономики // Sochi Journal of Economy. 2019. Т. 13. № 2. С. 155–164.
- Нургисаева А.А., Таменова С.С. Государственно-частное партнерство в области «зеленой» экономики мегаполиса // Central Asian Economic Review. 2022. № 3. С. 75–87. <https://doi.org/10.52821/2789-4401-2022-3-75-87>
- Селищева Т.А. «Зеленая» экономика как модель устойчивого развития стран ЕАЭС // Проблемы современной экономики. 2018. № 3 (67). С. 6–12.
- Фомина В.Ф. Выявление эффекта декаплинга в основных отраслях экономики Республики Коми // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т. 15. № 1. С. 176–193. <https://doi.org/10.15838/esc.2022.1.79.9>
- Чумаков В.Н., Фесенко Р.С., Горбунова В.С. Оценка эколого-экономического развития Ленинградской области на основе эффекта декаплинга // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2018. № 3. С. 42–48.
- Шкиперова Г.Т., Курило А.Е. Эколого-экономическая оценка в системе регионального управления // Ученые записки Российской Академии предпринимательства. 2014. № 41. С. 537–548.
- Шмелева Н.В. Методические подходы к оценке ресурсной эффективности промышленных экосистем // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 1 (45). С. 70–84. <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2023-1-4>
- Abu-Qdais H.A., Kurbatova A.I. The role of eco-industrial parks in promoting circular economy in Russia: A life cycle approach // Sustainability. 2022. Vol. 14. № 7. 3893. <https://doi.org/10.3390/su14073893>
- Chen X., Pang J., Zhang Z., Li H. Sustainability assessment of solid waste management in China: A decoupling and decomposition analysis // Sustainability. 2014. Vol. 6. № 12. P. 9268–9281. <https://doi.org/10.3390/su6129268>
- Fischer-Kowalski M., Amann C. Beyond IPAT and Kuznets curves: globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism // Population and Environment. 2001. Vol. 23. С. 7–47.
- Hines A. Limits to Growth: The 30-Year Update // Foresight. 2005. Vol. 7. № 4. С. 51–53.
- Inglezakis V.J., Zorpas A.A., Venetis C., Loizidou M., Moustakas K., Ardeleanu N., Ilieva L., Dvorsak S. Municipal solid waste generation and economic growth analysis for the years 2000–2013 in Romania, Bulgaria, Slovenia and Greece // Fresenius Environmental Bulletin. 2012. Vol. 21. № 8b. P. 2362–2367.
- Kaazke J., Meneses M., Wilke B.M., Rotter V.S. Environmental evaluation of waste treatment scenarios for the towns Khanty-Mansiysk and Surgut, Russia // Waste management & research. 2013. Vol. 31. № 3. P. 315–326.

- Mazzanti M., Nicolli F. Waste dynamics, decoupling and ex post policy effectiveness: evidence from the EU15 // *International journal of global environmental issues*. 2011. T. 11. № 1. C. 61–78.
- Montevecchi F. Policy mixes to achieve absolute decoupling: a case study of municipal waste management // *Sustainability*. 2016. Vol. 8. № 5. P. 442. <https://doi.org/10.3390/su8050442>
- Pu L. Exploring the relationship between solid waste production and economic development and the influence factor in Chengdu plain economic zone // *Environ. Pollut. Prev.* 2021. Vol. 43. P. 266–270.
- Sjöström M., Östblom G. Decoupling waste generation from economic growth — A CGE analysis of the Swedish case // *Ecological economics*. 2010. Vol. 69. № 7. P. 1545–1552.
- Starodubets N.V., Belik I.S., Alikberova T.T. Sustainability Assessment of the municipal solid waste management in Russia using the decoupling index // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2022. Vol. 17. № 1. P. 157–163. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170115>
- Vinitskaia N., Zaikova A., Deviatkin I., Bachina O., Horttanainen M. Life cycle assessment of the existing and proposed municipal solid waste management system in Moscow, Russia // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 328. 129407. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129407>
- Wang K., Zhu Y., Zhang J. Decoupling economic development from municipal solid waste generation in China's cities: Assessment and prediction based on Tapio method and EKC models // *Waste Management*. 2021. Vol. 133. P. 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.034>
- Wei T., Wu J., Chen S. Keeping track of greenhouse gas emission reduction progress and targets in 167 cities worldwide // *Frontiers in Sustainable Cities*. 2021. Vol. 3. 696381. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.696381>

References

- Abu-Qdais, H.A., & Kurbatova, A.I. (2022). The role of eco-industrial parks in promoting circular economy in Russia: A life cycle approach. *Sustainability*, 14(7), 3893. <https://doi.org/10.3390/su14073893>
- Akulov, A.O. (2013). Decoupling effect in the industrial region (the case of the Kemerovo oblast). *Economic and social changes: facts, trends, forecast*, (4), 28. (In Russ.).
- Bashirova, A.A. (2016). Determining the decoupling effect for problem areas in modern conditions (on the example of the regions of the North Caucasus Federal District). *Management of Economic Systems: electronic scientific journal*, 10(92), 4. (In Russ.).
- Bashmakov, I.A. (2020). Strategy of low-carbon development of the Russian economy. *Economic issues*, 7, 51–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>
- Chen, X., Pang, J., Zhang, Z., & Li, H. (2014). Sustainability assessment of solid waste management in China: A decoupling and decomposition analysis. *Sustainability*, 6, 9268–9281. <https://doi.org/10.3390/su6129268>
- Chumakov, V.N., Fesenko, R.S., & Gorbunova, V.S. (2018). Assessment of ecological and economic development of the Leningrad region based on the decapling effect. *Bulletin of Education and Science Development of the Russian Academy of Natural Sciences*, 3, 42–48. (In Russ.).
- Fischer-Kowalski, M., & Amann, C. (2001). Beyond IPAT and Kuznets curves: globalization as a vital factor in analysing the environmental impact of socio-economic metabolism. *Population and Environment*, 23, 7–47.
- Fomina, V.F. (2022) Identifying the effect of decoupling in major economic sectors of the Komi Republic. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 15(1), 176–193. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/esc.2022.1.79.9>

- Hines, A. (2005). Limits to Growth: The 30-Year Update. *Foresight*, 7(4), 51–53.
- Inglezakis, V.J., Zorpas, A.A., Venetis, C., Loizidou, M., Moustakas, K., Ardeleanu, N., Ilieva, L., & Dvorsak, S. (2012). Municipal solid waste generation and economic growth analysis for the years 2000–2013 in Romania, Bulgaria, Slovenia and Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21 (8 B), 2362–2367.
- Kaazke, J., Meneses, M., Wilke, B.M., & Rotter, V.S. (2013). Environmental evaluation of waste treatment scenarios for the towns Khanty-Mansiysk and Surgut, Russia. *Waste Management & Research*, 31(3), 315–326. <https://doi.org/10.1177/0734242X12473792>
- Mazzanti, M., & Nicolli, F. (2011). Waste dynamics, decoupling and ex post policy effectiveness: evidence from the EU15. *International journal of global environmental issues*, 11(1), 61–78.
- Mishulina, S.I. (2019). “Green” investments as an element of the mechanism of greening the regional economy. *Sochi Journal of Economy*, 13(2), 155–164. (In Russ.).
- Montevecchi, F. (2016). Policy mixes to achieve absolute decoupling: A case study of municipal waste management. *Sustainability*, 8, 442. <https://doi.org/10.3390/su8050442>
- Nurgisaeva, A.A., & Tamenova, S.S. (2022). Public-private partnership in the field of the “green” economy of the megalopolis. *Central Asian Economic Review*, 3, 75–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.52821/2789-4401-2022-3-75-87>
- Pu, L. (2021). Exploring the relationship between solid waste production and economic development and the influence factor in Chengdu plain economic zone. *Environ. Pollut. Prev*, 43, 266–270.
- Selishcheva, T.A. (2018). “Green” economy as a model of sustainable development of the EAEU countries. *Problems of modern economics*, 3(67), 6–12. (In Russ.).
- Shmeleva, N.V. (2023). Methodological approaches to assessing the resource efficiency of industrial ecosystems. *Models, systems, and networks in economics, technology, nature, and society*, 1(45), 70–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2227-8486-2023-1-4>
- Shkiperova, G.T., & Kurilo, A.E. (2014). Ecological and economic assessment in the regional management system. *Scientific notes of the Russian Academy of Entrepreneurship*, (41), 537–548. (In Russ.).
- Sjöström, M., & Östblom, G. (2010). Decoupling waste generation from economic growth — A CGE analysis of the Swedish case. *Ecological economics*, 69(7), 1545–1552.
- Starodubets, N.V., Belik, I.S., & Alikberova, T.T. (2022). Sustainability Assessment of the municipal solid waste management in Russia using the decoupling index. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(1), 157–163. <https://doi.org/10.18280/ijdsdp.170115>
- Valko, D.V. (2020). Sustainable development and circular economy: cross-country dimension. *Management in modern systems*, (1), 25. (In Russ.).
- Vinitaskaia, N., Zaikova, A., Deviatkin, I., Bachina, O., & Horttanainen, M. (2021). Life cycle assessment of the existing and proposed municipal solid waste management system in Moscow, Russia. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129407. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129407>
- Wang, K., Zhu, Y., & Zhang, J. (2021). Decoupling economic development from municipal solid waste generation in China’s cities: Assessment and prediction based on Tapio method and EKC models. *Waste management (New York, N.Y.)*, 133, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.034>
- Wei, T., Wu, J., & Chen, S. (2021). Keeping track of greenhouse gas emission reduction progress and targets in 167 cities worldwide. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3, 696381. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.696381>
- Zakondyrin, A.E., & Lipina, S.A. (2022). Ecological concepts: comparative analysis. *Izvestiya St. Petersburg State University of Economics*, (4), 7–14. (In Russ.).

Сведения об авторах / Bio notes

Курбатова Анна Игоревна, кандидат биологических наук по специальности экология, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, эксперт Органа по валидации и верификации парниковых газов института экологии, Российский университет дружбы народов. ORCID: 0000-0002-7763-5034. SPIN-код: 8177-8261. E-mail: kurbatova-ai@rudn.ru

Савенкова Елена Викторовна, доктор экономических наук, директор института экологии, профессор департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, директор Органа по валидации и верификации парниковых газов института экологии, Российский университет дружбы народов. Scopus ID 571 90004814. SPIN-код: 9083-6539. E-mail: savenkova-ev@rudn.ru

Абу-Кдэйс Хани, PhD, профессор департамента гражданского строительства, кафедра инженерии по охране окружающей среды и управлению водными ресурсами, Университет JUST. ORCID: 0000-0001-9370-8988. E-mail: qdaish@edu.jo

Anna I. Kurbatova, PhD in Environmental Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University. ORCID: 0000-0002-7763-5034. SPIN-код: 8177-8261. E-mail: kurbatova-ai@rudn.ru

Elena V. Savenkova, Doctor of Economics, Director of the Institute of Environmental Engineering, Professor, Department of Environmental Safety and Product Quality Management of Environmental Engineering, RUDN University. Scopus ID 571 90004814. SPIN-code: 9083-6539. E-mail: savenkova-ev@rudn.ru

Hani Abu-Qdais, Prof. Hani Abu-Qdais, PhD, Water & Environmental Engineering, Civil Engineering Department, Jordan University of Science & Technology. ORCID: 0000-0001-9370-8988. E-mail: qdaish@edu.jo