

УДК 504.3.054

СУЩЕСТВУЮЩИЕ БАРЬЕРЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМ АКТИВНОЙ ДЕГАЗАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Е. И. БЕРТОШ¹⁾, К. В. ГОНЧАР¹⁾, Д. В. МЕЛЕХ¹⁾, И. П. НАРКЕВИЧ¹⁾, Ю. В. ФУРСА¹⁾

¹⁾Бел НИЦ «Экология»,
ул. Якубова, 76, 220095, г. Минск, Беларусь

Современные города являются крупным источником образования твердых коммунальных отходов (ТКО), объем которых из года в год растет из-за увеличивающихся темпов экономического развития и урбанизации. Наиболее распространенным методом удаления ТКО во всем мире, в том числе в Республике Беларусь, является их захоронение на полигонах. В настоящее время в Беларуси для размещения ТКО действует 151 полигон (мини-полигоны отсутствуют), где захоранивается около 65 % образующихся ТКО в стране [1], оказывающих негативное воздействие на окружающую среду и изменение климата. В рамках реализации международных обязательств по выполнению положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции ООН об изменении климата Совет Министров Республики Беларусь принял постановление от 29 сентября 2021 г. № 553 «Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 года», в соответствии с которым страна берет на себя обязательство по сокращению выбросов парниковых газов (ПГ) до 2030 г. на 35 % к уровню 1990 г. с учетом поглощения в секторе «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство». Республика Беларусь выполняет свои обязательства по Парижскому соглашению и принимает меры для сокращения выбросов антропогенных ПГ. Выбросы парниковых газов в секторе «Отходы» составили 6,5 % от общих выбросов в 2021 г. и выросли за 1990–2021 гг. на 32 % (с 4513,5 Гг в эквиваленте CO₂ до 5975,9 Гг) за счет увеличения выбросов метана от полигонов твердых коммунальных отходов. В исследовании рассмотрен ряд экологических и социально-экономических преимуществ применения систем активной дегазации полигонов ТКО и использование свалочного газа для производства электрической энергии. Описаны наиболее опасные воздействия на различные компоненты природной среды, включая подземные и поверхностные воды, почвы, атмосферный воздух, которые оказывают токсические и ядовитые вещества, содержащиеся в жидком фильтрате полигонов ТКО, входящие в состав свалочного газа, выделяемого в результате анаэробного разложения отходов. Расчитано количество предотвращенных выбросов загрязняющих веществ

Образец цитирования:

Бертош ЕИ, Гончар КВ, Мелех ДВ, Наркевич ИП, Фурса ЮВ. Существующие барьеры при применении систем активной дегазации полигонов твердых коммунальных отходов для решения экологических и климатических проблем в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2024;2:86–91.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-2-86-91>

For citation:

Bertosh EI, Gonchar KV, Melekh DV, Narkevich IP, Fursa YuV. Existing barriers of using of active degassing systems for municipal solid waste disposal sites to solve environmental and climatic problems in the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2024;2:86–91. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-2-86-91>

Авторы:

Евгения Ивановна Бертош – заместитель заведующего отделом международного научного сотрудничества и климата.
Кристина Викторовна Гончар – научный сотрудник отдела международного научного сотрудничества и климата.
Дмитрий Владимирович Мелех – заведующий отделом международного научного сотрудничества и климата.
Иван Петрович Наркевич – доктор технических наук, доцент; старший научный сотрудник отдела международного научного сотрудничества и климата.
Юлия Владимировна Фурса – научный сотрудник отдела международного научного сотрудничества и климата.

Authors:

Evgenia I. Bertosh, deputy head of the department of international scientific cooperation and climate.
ebertosh@gmail.com
Kristina V. Gonchar, researcher at the department of international scientific cooperation and climate.
gonchar.kristina@mail.ru
Dmitry V. Melekh, head of the department of international scientific cooperation and climate.
melekhdim@gmail.com
Ivan P. Narkevich, doctor of science (technical), docent; senior researcher at the department of international scientific cooperation and climate.
ivan.narkevitch@mail.ru
Yulia V. Fursa, researcher at the department of international scientific cooperation and climate.
yuliiafursav@gmail.com

за счет их улавливания системами активной дегазации на одном из объектов Республики Беларусь. Рассмотрены нормативно-правовые акты, поддерживающие развитие технологий по производству и удалению биогаза в Республике Беларусь, а также по международным документам, осуществляемым страной в рамках глобальной климатической повестки, включая Рамочную конвенцию Организации Объединенных Наций об изменении климата и Парижское соглашение.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы; полигон твердых коммунальных отходов; система активной дегазации; свалочный газ; климат; международные соглашения.

EXISTING BARRIERS OF USING OF ACTIVE DEGASSING SYSTEMS FOR MUNICIPAL SOLID WASTE DISPOSAL SITES TO SOLVE ENVIRONMENTAL AND CLIMATIC PROBLEMS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

E. I. BERTOSH^a, K. V. GONCHAR^a, D. V. MELEKH^a, I. P. NARKEVICH^a, Yu. V. FURSA^a

*^aBel SIC «Ecology»,
76 Yakubava Street, Minsk 220095, Belarus
Corresponding author: Yu. V. Fursa (yuliiafursav@gmail.com)*

Modern cities are a major source of solid municipal waste (MSW) generation, the volume of which is increasing from year to year due to growing economic development and urbanization. The most common method of solid waste disposal worldwide, including in the Republic of Belarus, is its landfilling. Currently, there are 151 landfills in Belarus for the placement of MSW, where about 65 % of the generated MSW in the country is buried [1], which has a negative impact on the environment and climate change. As a part of the implementation of international obligations to implement the provisions of the Paris Agreement to the UN Framework Convention on Climate Change, the Council of Ministers of the Republic of Belarus adopted a resolution dated September 29, 2021. No. 553 «On establishing a nationally determined contribution of the Republic of Belarus to reduce greenhouse gas emissions by 2030», according to which the country undertakes to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by 2030 by 35 percent to the level of 1990, taking into account the absorption in the sector «Agriculture, Forestry and Other Land Use». The Republic of Belarus fulfills its obligations under the Paris Agreement and takes measures to reduce anthropogenic GHG emissions. Greenhouse gas emissions in the Waste sector amounted to 6.5 % of total emissions in 2021 and increased by 32 % over the period 1990–2021 (from 4513.5 Gg in CO₂ equivalent to 5975.9 Gg) due to growth of methane emissions from landfills of municipal solid waste. The article considers a number of environmental and socio-economic advantages of using active degassing systems for solid waste disposal sites and the use of landfill gas for the production of electric energy. The most dangerous effects on various components of the natural environment, including groundwater and surface waters, soils, and atmospheric air, which have toxic substances contained in the filtrate of solid waste disposal sites and included in the landfill gas released as a result of anaerobic decomposition of waste, are described. The amount of prevented emissions of pollutants due to their capture by active degassing systems at one of the facilities of the Republic of Belarus have been calculated. The normative legal acts supporting the development of technologies for the production and utilization of biogas in the Republic of Belarus and international documents implemented by the country within the framework of the global climate agenda, including the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Paris Agreement, are considered.

Keywords: solid municipal waste; landfill of solid municipal waste; active degassing system; landfill gas; climate; international agreements.

Введение

Свалочный газ состоит из более 100 компонентов с различными негативными свойствами. Любой из них, входящих в состав свалочного газа, может как по отдельности, так и в сочетании создавать опасность для здоровья человека, если они присутствуют в количествах, достаточных для создания среды с дефицитом кислорода¹. В большей степени опасности подвержены органы дыхания, осязания и зрения [2].

Наиболее опасные воздействия на различные компоненты природной среды, включая подземные и поверхностные воды, почвы, атмосферный воздух, оказывают токсические и ядовитые вещества, содержащиеся в жидком фильтрате полигона и входящие в состав свалочного газа, выделяемого в результате анаэробного разложения ТКО. В свою очередь, наличие воспламеняющихся компонентов в составе свалочного газа является причиной возникновения пожаров, в результате которых выделяются

¹Государственный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов (Национальный доклад о кадастре, 2023) [Электронный ресурс]. URL: National Inventory Submissions 2023 | UNFCCC (дата обращения: 28.05.2024).

чрезвычайно опасные вещества – диоксины и фураны, имеющие высокий токсический потенциал воздействия на организм человека и загрязняющие окружающую среду. Диоксин – тяжелый, медленно разлагающийся газ, который при поступлении в атмосферу быстро оседает в окрестностях и постепенно накапливается в почвенном покрове [3].

Самым пожароопасным компонентом свалочного газа является метан, составляющий свыше 50 % от общего объема биогаза. Кроме того, метан – это парниковый газ, по своему характеру оказывающий в 25 раз большее воздействие на глобальное потепление, чем диоксид углерода.

Для ликвидации и предупреждения перечисленных неблагоприятных воздействий от полигонов ТКО на окружающую среду и здоровье населения в большинстве развитых стран внедряются различные технологии по снижению выбросов свалочного газа в атмосферу. Одной из таких технологий является применение систем активной дегазации полигонов ТКО и использование свалочного газа для производства электрической энергии. Данные системы имеют ряд экологических и социально-экономических преимуществ как на местном, так и глобальном уровнях.

К наиболее значимым экологическим выгодам работы биогазовых комплексов на полигонах ТКО относятся:

- Стабилизация отходов ТКО до экологически приемлемого уровня.
- Снижение выбросов токсических и ядовитых компонентов, входящих в состав свалочного газа, и улучшение экологической обстановки вокруг полигонов ТКО.
- Предотвращение выбросов парниковых газов и смягчение последствий изменения климата на глобальном и региональном уровнях.

• Минимизация рисков, связанных с пожарами на полигонах ТКО, и, как результат, предотвращение выбросов очень опасных для живых организмов веществ.

Социально-экономические преимущества сбора и энергетического использования свалочного газа:

- экономия ископаемых видов топлива;
- получение дохода от продажи произведенной электрической энергии;
- увеличение налоговых поступлений в бюджет;
- создание новых рабочих мест;
- предотвращение экономического ущерба, вызываемого ростом неблагоприятных погодных явлений из-за климатических изменений климата путем снижения вероятности их воздействия на различные производственные и социальные сферы, здоровье населения и окружающую среду.

Материалы и методы исследования

Расчет предотвращенных выбросов загрязняющих веществ в результате улавливания биогаза системами дегазации полигонов ТКО «Тростенец» и «Тростенецкий» был основан на Методике расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых коммунальных и промышленных отходов (ПО) [4]. Данная методика предназначена для использования при проведении инвентаризации выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, разработке проектов нормативов предельно допустимых и временно согласованных выбросов для полигонов ТКО и ПО, контроле за соблюдением установленных нормативов предельно-допустимых выбросов и при оценке выбросов от полигонов ТКО и ПО в предпроектной и проектной документации на размещение новых и расширение существующих объектов.

Указанная выше методика распространяется на основные виды газообразных загрязняющих веществ, образующихся в результате биотермического анаэробного процесса распада органических составляющих ТКО и выделяющихся с поверхностей полигонов отходов в атмосферу.

В расчетах применялись данные по морфологическому составу отходов, основанные на анализе результатов изучения соотношения отдельных компонентов (фракций) отходов, имеющих определенные общие признаки и (или) свойства, выраженные в процентах к общей массе отходов коммунальных отходов в Республике Беларусь [5].

Сокращение потребления разных видов топлива и предотвращение выбросов парниковых газов (ПГ) от их сжигания было рассчитано в соответствии с помощью методических указаний для подготовки национальной отчетности ПГ [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно проведенному исследованию по расчету предотвращенных выбросов загрязняющих веществ за счет их улавливания системами активной дегазации, состоящих из 7-ми биогазовых блок-станций, электрической мощностью в 1 МВт каждая, которые установлены на полигонах ТКО «Тростенец» и «Тростенецкий» в границах г. Минска, масса предотвращенных выбросов загрязняющих веществ, в том

числе ядовитых и взрывоопасных компонентов биогаза, в 2022 г. составила – 13 355 т в год при объеме извлеченного биогаза 20,7 млн м³.

Под предотвращенными выбросами загрязняющих веществ в данном исследовании понимаются объем уловленного (использованного на энергетические нужды) биогаза и содержащиеся в его составе вредные загрязняющие вещества (табл).

Предотвращенные выбросы в составе уловленного свалочного газа системами активной дегазации полигонов ТКО «Тростенец» и «Тростенецкий»

Prevented emissions in the composition of captured landfill gas by active degassing systems of MSW landfills «Trostenets» and «Trostenetsky»

Наименование вещества	Весовое процентное содержание компонентов в биогазе, %	Масса уловленных выбросов, т/год	Класс опасности
Взрывоопасные и ядовитые (токсические) компоненты			
Метан	52,915	12787,4	4
Толуол	0,723	174,7	3
Аммиак	0,533	128,8	4
Ксилол	0,443	107,1	3
Углеродаоксид	0,252	60,9	Не нормируется
Ядовитые и токсичные компоненты			
Азота диоксид	0,111	26,8	2
Формальдегид	0,096	23,2	2
Ангидрид сернистый	0,07	16,9	3
Этилбензол	0,095	23,0	3
Сероводород	0,026	6,3	2

Согласно расчетам, в результате работы биогазовых комплексов на полигонах ТКО «Тростенец» и «Тростенецкий» в 2022 г. выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от эксплуатируемых полигонов сократились более чем на 27 % (по сравнению с выбросами в целом от полигона без учета системы дегазации).

За период работы комплекса по дегазации указанных выше полигонов, с 2010 по 2022 г., выбросы CH₄ за счет улавливания биогаза снизились более, чем на 1,4 млн т CO₂ экв. Выбросы парниковых газов за указанный период от замещения ископаемых видов топлива для выработки электрической энергии в зависимости от замещаемого топлива сократились от 65,2 до 159,3 млн т CO₂ экв. при замещении использования природного газа и торфа соответственно.

В результате дегазации полигона ТКО «Тростенец» был достигнут социально-экологический эффект за счет его биологической рекультивации, в результате которой тело полигона стабилизировалось, сократилось воздействие свалочного газа на корневую систему объектов растительного мира и, как следствие, полигон покрылся густой растительностью, перестал выделяться дурно пахнущий газ, изменилось эстетическое восприятие полигона ТКО. Система активной дегазации позволила не только улучшить экологическую обстановку в районе размещения полигона ТКО, но и помогла существенно снизить затраты на строительство (благоустройство) Мемориального комплекса «Тростенец», посещаемого в том числе, международными делегациями.

Таким образом, на примере работы действующей системы активной дегазации полигонов ТКО показано, что эти установки являются эффективным защитным сооружением, уменьшающим неконтролируемые выбросы ядовитых, токсичных и взрывоопасных веществ в атмосферный воздух, а также сооружениями, обеспечивающим восстановление эстетической и биологической ценности окружающей среды.

Как уже было отмечено выше, установки по удалению свалочного газа существенно влияют на снижение выбросов парниковых газов, тем самым предотвращая изменение климата. В этой связи извлечение свалочного газа на полигонах ТКО имеет важное значение для обеспечения реализации обязательств Республикой Беларусь по международным документам, осуществляемым страной в рамках глобальной климатической повестки, включая Рамочную конвенцию Организации Объединенных Наций об изменении климата и Парижское соглашение.

В соответствии с целями данных международных соглашений, Республика Беларусь реализовывает свою климатическую политику посредством установления национальных целевых показателей по сокращению

выбросов парниковых газов. Так, текущая общеэкономическая цель по сокращению выбросов парниковых газов Республики Беларусь – снижение выбросов в 2030 г. на 35–40 % по отношению к 1990 г.²

Кроме того, удаление биогаза на биогазовых установках, в том числе на полигонах ТКО, является одним из ключевых направлений реализации различных отраслевых программ развития в области энергосбережения и совершенствования существующей системы обращения с ТКО:

- Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 29 июля 2021 г. № 4292.
- Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348.
- Государственной программы «Энергосбережение» на 2021–2025 годы, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 февраля 2021 г. № 103.
- Государственной программы «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 № 50.
- Концепции создания объектов по сортировке и использованию твердых коммунальных отходов и полигонов для их захоронения, утвержденная Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23 октября 2019 г. № 715.
- Концепции совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2017 г. № 1037.
- Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 июля 2017 г. № 567.

При таком наличии нормативно-правовых актов, поддерживающих развитие технологий по производству и удалению биогаза в Республике Беларусь, можно сделать вывод, что это направление должно повсеместно внедряться в стране. Однако наряду с этим в Беларуси в 2022 г. были приняты нововведения в законодательстве в части регулирования отношений в области развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в связи с их интеграцией в энергосистему в условиях запуска Белорусской атомной электростанции.

В частности, принятие Закона Республики Беларусь от 30 мая 2022 года № 173-З «О регулировании отношений в сфере использования возобновляемых источников энергии» повлияло на снижение тарифов на приобретение электрической энергии из ВИЭ более чем в два раза, что существенно снизило доходы организаций от продажи произведенной электрической энергии. До сих пор в Республике Беларусь действовали более высокие тарифы на покупку электроэнергии энергоснабжающими организациями из ВИЭ, стимулирующие привлечение инвестиций в эту сферу.

Согласно принятым изменениям, блок-станции, работающие на ВИЭ, могут привлекаться к участию в регулировании суточного графика покрытия электрической нагрузки Белорусской энергетической системы, что подразумевает отключение этих блок-станций в часы минимальной нагрузки энергосистемы и, как результат, снижение выручки от продажи электрической энергии.

При этом предполагается, что такому регулированию не подвержены организации, желающие использовать ВИЭ для собственных хозяйственных нужд. Также для всех собственников ВИЭ все еще действуют льготы в сфере налогообложения в виде снижения экологического налога на сумму капитальных затрат, связанных со строительством ВИЭ, а также освобождения от уплаты земельного налога и налога на добавленную стоимость при ввозе на территорию страны оборудования и запасных частей, предназначенных для строительства, эксплуатации и ремонта установок, работающих на ВИЭ.

Однако новые условия привели к тому, что некоторые производители электрической энергии из ВИЭ, а в большей степени из биогаза на полигонах ТКО, для которых инвестиционные затраты еще не окупились, работают в убыток из-за того, что выручка от продажи электрической энергии не покрывает все эксплуатационные и амортизационные затраты, а также иные затраты по возврату кредитных средств. Кроме того, на уже действующих полигонах, для которых строительство систем дегазации не было предусмотрено до ввода их в эксплуатацию, инвесторам для получения надежной прибыли необходимо постоянно инвестировать в строительство новых скважин и системы очистки поверхностных стоков и фильтрата, но в сложившейся ситуации расширение инфраструктурных объектов для существующих систем дегазации полигонов экономически нецелесообразно.

Заключение

Существующая тарифная и ограничительная политика в отношении ВИЭ не стимулирует дальнейшее развитие технологий улавливания биогаза на отходах ТКО в Беларуси.

²Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29.09.2021 № 553 «Об установлении определяемого на национальном уровне вклада Республики Беларусь в сокращение выбросов парниковых газов до 2030 года».

Однако это вовсе не означает, что в Беларуси не планируется развивать ВИЭ. Предполагается, что созданные механизмы для внедрения ВИЭ будут направлены исключительно на собственные нужды субъектов хозяйствования. Что касается систем дегазации полигонов, то энергопотребление для обеспечения хозяйственной деятельности полигона незначительно, а капитальные затраты на оборудование системами дегазации высоки, и, по примерным оценкам, в зависимости от технологии улавливания и удаления биогаза составляют 3,5–4,7 млн долл. В этой связи строительство установок по использованию свалочно-газа в текущей ситуации экономически не привлекательно.

Учитывая социальную и экологическую значимость технологии дегазации полигонов, для ее внедрения необходимы рыночные инструменты. Очевидно, что дальнейшее стимулирование в развитие дегазации полигонов ТКО в Беларуси может произойти в рамках реализации климатических проектов как на международном, так и на национальном углеродном рынке, аспекты создания которого в настоящее время прорабатываются Правительством Республики Беларусь.

Библиографические ссылки

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Интернет, процитировано 28 мая 2024]. URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-3-ispolzovanie-otkhodov/?ysclid=lreoq2wdj878330357>.
2. Вайсман ЯИ, и др. *Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Монография*. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет; 2012. 259 с.
3. Осипов ВИ. Управление твердыми коммунальными отходами как федеральный экологический проект. *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2019;3:3–11.
4. Абрамов НВ, Санников ЭС, Русаков НВ, Мильяев МБ, Халевин РГ, Лифанов АВ, Буренин НС, Турбин АС. *Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов*. Москва: Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова; 2004. 20 с.
5. Труш ЯВ, Ботян ЕА. *Анализ данных изучения морфологического состава коммунальных отходов в Республике Беларусь. В: Экологическая безопасность 1991–2021. Сборник материалов заочной научно-практической конференции*. Минск: БГТУ; 2021. с. 152–156.
6. Руководящие принципы проведения национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006. Том 2. Энергетика [Интернет, процитировано 28 мая 2024]. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf.

Reference

1. National State Committee of the Republic of Belarus. [Internet, cited 2024 May 28]. Available from: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-3-ispolzovanie-otkhodov/?ysclid=lreoq2wdj878330357>.
2. Vaisman YaI, et al. *Upravlenie otkhodami. Stochnye vody i biogaz polygonov zakhoroneniya tverdykh bytovykh otkhodov* [Waste management. Wastewater and biogas from solid waste disposal sites]. Perm: Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet; 2012. p. 259. Russian.
3. Osipov VI. *Upravlenie tverdymi kommunal'nyimi otkhodami kak federal'nyi ekologicheskii projekt* [Municipal solid waste management as a federal environmental project]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2019;3:3–11. Russian.
4. Abramov NV, Sannikov ES, Rusakov NV, Milyaev MB, Khalevin RG, Lifanov AV, Burenin NS, Turbin AS. *Metodika rascheta kolichestvennykh kharakteristik vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu ot polygonov tverdykh by-tovykh i promyshlennykh otkhodov* [Methodology for calculating the quantitative characteristics of pollutant emissions into the atmosphere from solid domestic and industrial waste landfills]. Moscow: Akademiya kommunal'nogo hozyajstva; 2004. 20 p. Russian.
5. Trush YaV, Botyan EA. *Analiz dannykh izucheniya morfologicheskogo sostava kommunal'nykh otkhodov v Respublike Belarus* [Analysis of data from studying the morphological composition of municipal waste in the Republic of Belarus]. In: *Ekologicheskaya bezopasnost' 1991–2021. Sbornik materialov zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Minsk: BSTU; 2021. p. 152–156. Russian.
6. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2. Energy [Internet, cited 2024 May 28]. Available from: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf.

Статья поступила в редакцию 28.05.2024.
Received by editorial board 28.05.2024.