

УДК 502.3:628.4(476)

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СЕКТОРЕ «ОТХОДЫ» В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

И. И. ПОЛОЗ^{1), 2)}, О. И. РОДЬКИН³⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, Минск, Беларусь

²⁾Институт жилищно-коммунального хозяйства, Национальная академия наук Беларусь,

ул. акад. Купревича, 10, 220141, г. Минск, Беларусь

³⁾Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,

Белорусский государственный университет,

ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

В исследовании представлена оценка основных источников выбросов парниковых газов в секторе «Отходы» в Республике Беларусь в контексте глобального изменения климата и его воздействия на окружающую среду. Актуальность данной работы обусловлена растущими проблемами, связанными с управлением отходами, а также необходимостью снижения выбросов парниковых газов для достижения климатических целей, установленных международными соглашениями. С 1989 по 2019 г. среднегодовая температура в стране выросла на 1,3 °С. Прогнозы белорусских ученых указывают на дальнейшее повышение температуры (1–5 °С к концу века). Беларусь, являясь стороной Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН), Киотского протокола и Парижского соглашения, взяла на себя обязательство сократить выбросы парниковых газов (ПГ) на 28 % к 2030 г. по сравнению с уровнем 1990 г. Сектор «Отходы» является значительным источником ПГ, что связано с процессами утилизации, переработки и захоронения больших объемов отходов, образующихся в результате человеческой деятельности. Установлено, что основными источниками выбросов парниковых газов в данном секторе являются полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) и сооружения для очистки сточных вод. На указанный сектор приходится 32,76 % от общего объема национальных выбросов метана (CH₄) и 4,17 % выбросов закиси азота (N₂O). Общий объем выбросов ПГ в секторе «Отходы» в 2020 г. – 5 829,72 Гг в CO₂-эквиваленте, что составляет 6,56 % от общих выбросов в стране. Полученные результаты подчеркивают важность разработки эффективных стратегий управления отходами для снижения выбросов парниковых газов и минимизации их воздействия на климатическую систему.

Ключевые слова: парниковые газы; изменение климата; сектор «Отходы»; твердые коммунальные отходы; сточные воды; МГЭИК.

ASSESSMENT OF THE MAIN SOURCES OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE WASTE SECTOR IN THE REPUBLIC OF BELARUS

I. I. POLOZ^{a, b}, A. I. RODZKIN^c

^aBelarusian National Technical University,

65 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220013, Belarus

^bInstitute of Housing and Communal Services, National Academy of Sciences of Belarus,

10 Academician V. F. Kuprevicha Street, Minsk 220141, Belarus

^cInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,

23/1 Dailhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: I. I. Poloz (uira@list.ru)

Образец цитирования:

Полоз ИИ, Родькин ОИ. Оценка основных источников выбросов парниковых газов в секторе «Отходы» в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2025;3:89–95.

<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-89-95>

For citation:

Poloz II, Rodzkin AI. Assessment of the main sources of greenhouse gas emissions in the Waste sector in the Republic of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2025;3:89–95. Russian.

<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-89-95>

Авторы:

Ирина Ивановна Полоз – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры промышленного дизайна и упаковки¹⁾; ведущий научный сотрудник²⁾.

Олег Иванович Родькин – доктор биологических наук, профессор; директор.

Authors:

Irina I. Poloz, PhD (agriculture), docent; associate professor at the department of industrial design and packaging^a; leading researcher^b. uira@list.ru

Oleg I. Rodkin, doctor science (biology), professor; director. aleh.rodzkin@rambler.ru

The article presents an assessment of the main sources of greenhouse gas emissions in the «Waste» sector in the Republic of Belarus in the context of global climate change and its impact on the environment. The relevance of this study is determined by the growing problems associated with waste management, as well as the necessity to reduce greenhouse gas emissions to achieve climate goals established by international agreements. From 1989 to 2019, the average annual temperature in the country increased by 1.3 °C. Predictions from Belarusian scientists forecast a further temperature rise of 1–5 °C by the end of the century. Belarus, as a party to the UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the Kyoto Protocol, and the Paris Agreement, has committed to reducing greenhouse gas emissions by 28 % by 2030 compared to 1990 levels. The “Waste” sector is a significant source of greenhouse gases, related to the processes of disposal, recycling, and landfilling of large volumes of waste generated by human activities. It has been established that the main sources of greenhouse gas emissions in this sector are solid municipal waste landfills and wastewater treatment facilities. This sector accounts for 32.76 % of the total national methane (CH_4) emissions and 4.17 % of nitrous oxide (N_2O) emissions. The total volume of greenhouse gas emissions in the «Waste» sector in 2020 amounted to 5,829.72 Gg in CO_2 -equivalent, which constitutes 6.56 % of the total emissions in the country. The results obtained highlight the importance of developing effective waste management strategies to reduce greenhouse gas emissions and minimize their impact on the climate system.

Keywords: greenhouse gases; climate change; waste sector; solid municipal waste; wastewater; IPCC.

Введение

Современная научная теория глобального изменения климата развивается с начала XIX в., когда впервые был установлен факт роста температуры, связанный с выбросами в атмосферу парниковых газов. К настоящему времени установлено, что увеличение средней температуры поверхности Земли (рост на 0,8 °C с середины XX в.) сопровождается рядом негативных экологических эффектов, включая изменение водного баланса территорий и воздушных потоков, таяние ледников, поднятие уровня мирового океана, выпадение кислотных осадков и др. [1]. Такой рост температуры превышает показатель, зафиксированный за последние полторы тысячи лет. Согласно теоретическим расчетам, основная причина процесса изменения климата – усиление парникового эффекта из-за роста концентрации CO_2 и ряда других газов в атмосфере вследствие деятельности человека.

Глобальная климатическая угроза для Беларуси также актуальна, как и для многих других стран. Так, в течение 1989–2019 гг. среднегодовая температура воздуха на территории Беларуси повысилась в среднем за данный период на 1,3 °C по сравнению с климатической нормой (1961–1990 гг.) и на 0,7 °C по сравнению с температурой за период 1945–2019 гг., что составило 7,1 °C [2].

Согласно климатическим моделям, разработанным белорусскими учеными, различные сценарии концентрации парниковых газов (далее – ПГ) прогнозируют повышение средней годовой температуры воздуха на 1–5 °C до конца текущего столетия. Наибольший рост на 1–6 °C прогнозируется в холодное время года, в теплое время года ожидается рост на 1–4 °C. Сценарий RCP8.5 демонстрирует наибольшие изменения. Зимой, весной и осенью ожидается повышение температуры до середины текущего столетия, а затем прогнозируется некоторое ее снижение до конца века [3].

В условиях глобального изменения климата проблема сокращения выбросов ПГ занимает одно из центральных мест в международной экологической повестке. Основным международным документом, регулирующим глобальное антропогенное воздействие на климат, является Рамочная конвенция ООН об изменении климата (UN Framework Convention on Climate Change, РКИК ООН), принятая 9 мая 1992 г. и вступившая в силу 21 марта 1994 г. Это соглашение об общих принципах совместных действий для сдерживания процессов изменения климата на планете. Республика Беларусь является Стороной РКИК ООН с 2000 г., Киотского протокола – с 2005 г., а также Парижского соглашения – с 2016 г. В связи с ратификацией Парижского соглашения по климату Беларусь взяла на себя международные обязательства по сокращению выбросов ПГ на 28 % до 2030 г. по сравнению с 1990 г. [4].

Согласно международным договоренностям, каждая Сторона конвенции должна представлять отчет по выбросам парниковых газов на своей территории в соответствии с методикой «Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов».

Выбросы ПГ представляют собой результат человеческой деятельности и охватывают несколько ключевых секторов, включая энергетику, промышленные процессы, сельское хозяйство, землепользование и управление отходами. Так, инвентаризация антропогенных выбросов и поглощений ПГ осуществляется по следующим секторам: 1) энергетика; 2) промышленные процессы и использование продуктов; 3) сельское хозяйство; 4) землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ); 5) отходы. Методика расчета включает 4 сектора по выбросу парниковых газов и сектор, позволяющий адсорбировать парниковые газы, – ЗИЗЛХ.

Сектор «Отходы» является значительным источником парниковых газов, что связано с процессами утилизации, переработки и захоронения больших объемов отходов. При размещении твердых коммунальных отходов (далее – ТКО) на полигонах оказывается значительное негативное воздействие на окружающую

среду, в том числе и потому, что происходит выделение больших количеств метана и углекислого газа, являющихся ПГ и негативно влияющих на климатические изменения [5; 6].

Таким образом, изучение и снижение основных источников выбросов ПГ в секторе «Отходы» является важнейшей задачей для достижения целей Парижского соглашения и реализации национальных стратегий по климатической безопасности. Решение данной проблемы способствует не только снижению негативного воздействия на климат, но и развитию экологически безопасных и экономически эффективных методов обращения с отходами, что актуально для всех стран мира.

В связи с этим целью наших исследований является оценка, анализ и систематизация основных источников выбросов ПГ в секторе «Отходы».

Материалы и методы исследования

В работе использованы комплексные теоретические и аналитические подходы, основанные на изучении современных статистических отчетов, международных стандартов, программных документов и научных публикаций в области оценки выбросов ПГ в секторе «Отходы».

Теоретические основы исследования базируются на концепциях системного анализа процессов обращения с отходами, моделировании выбросов ПГ и оценке их вклада в климатическую систему. Проанализировано более 70 работ зарубежных и отечественных авторов.

Результаты исследования и их обсуждения

Согласно расчетам международной группы экспертов по изменению климата (далее –МГЭИК), основными причинами происходящих изменений являются выбросы ПГ, сопутствующие производству энергии и повышению средней глобальной температуры атмосферы, что обуславливает увеличение частоты природных стихийных бедствий и рост уровня Мирового океана [7; 8].

Согласно ISO 14067–2018, ПГ – это газовый компонент атмосферы природного или антропогенного происхождения, который поглощает и испускает излучение на определенных длинах волн в спектре инфракрасного излучения, испускаемого поверхностью Земли, атмосферой и облаками [9].

Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов 2006 г. охватывают следующие ПГ [10]:

- двуокись углерода (CO_2);
- метан (CH_4);
- закись азота (N_2O);
- гидрофтоглероды (ГФУ);
- перфторуглероды (ПФУ);
- шестифтористая сера (SF_6);
- трехфтористый азот (NF_3);
- трифторметил пятифтористая сера (SF_5CF_3);
- галогенированные эфиры (например, $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$, $\text{CHF}_2\text{OCF}_2\text{OC}_2\text{F}_4\text{OCHF}_2$, $\text{CHF}_2\text{OCF}_2\text{OCHF}_2$);
- другие галоидуглероды, не охваченные Монреальским протоколом, в том числе CF_3I , CH_2Br_2 CHCl_3 , CH_3Cl , CH_2Cl_2 .

Многие специалисты-климатологи включают в число ПГ и водяной пар, поскольку его вклад в создание парникового эффекта оценивается достаточно высоко.

Углекислый газ является наиболее распространенным ПГ, образующимся в результате производства энергии. В октябре 2022 г. международная группа исследователей установила, что концентрация углекислого газа в атмосфере Земли достигла 418 ppm, что является самой высокой когда-либо зарегистрированной среднемесячной глобальной концентрацией [11]. Углекислый газ, попадая в атмосферу, задерживает инфракрасное излучение с поверхности планеты, что приводит к увеличению ее температуры, вызывая парниковый эффект [12]. Увеличение концентрации углекислого и других парниковых газов влечет за собой не только повышение температуры воздушной среды, но и нарушает климатический баланс биосфера.

Такого рода изменения могут привести к увеличению количества дождливых дней и ливневых осадков, изменению регионального климата, изменению сезонов и усилению экстремальных погодных условий.

Углекислый газ, попадая в атмосферу, остается там в течение длительного времени, способствуя глобальному потеплению в течение нескольких десятилетий или даже столетий.

Углекислый газ как продукт жизнедеятельности организмов и часть земного углеродного цикла (естественная циркуляция углерода в атмосфере, океанах, почве, растениях и животных) присутствует в атмосфере постоянно. Антропогенная деятельность также изменяет углеродный цикл, выбрасывая больше

СО₂ в атмосферу и изменяя способность таких естественных поглотителей, как леса и почвы, удалять и накапливать СО₂ из атмосферы. Углекислый газ попадает в атмосферу при сжигании ископаемых видов топлива (уголь, природный газ и нефть), твердых отходов, деревьев и изделий из древесины, а также в результате определенных химических реакций (например, при производстве цемента). Углекислый газ удаляется из атмосферы (или секвестрируется), когда он поглощается растениями в рамках биологического углеродного цикла [13].

Еще одним ПГ является метан. Выявлено, что современная глобальная интенсивность выбросов естественных источников метана составляет от 183 до 248 Тг СН₄/год при средней (наиболее вероятной) величине 215 Тг СН₄/год. Современная глобальная интенсивность антропогенных источников метана в атмосферу составляет 357 Тг СН₄/год с интервалом неопределенности от 336 до 375 Тг СН₄/год [14].

Оценки степени влияния метана на парниковый эффект, полученные различными исследователями, значительно варьируют. Согласно исследованиям [15], ПГ метана является более эффективным поглотителем инфракрасного излучения, чем углекислый газ. Потенциал глобального потепления метана в 28–36 раз больше, чем у углекислого газа, и поэтому он оказывает более серьезное воздействие на климат. Результаты исследований позволяют увеличить эту цифру более чем в 3 раза. Предполагается, что парниковый эффект от метана превосходит эффект от СО₂ в 84 раза. Следовательно, прирост содержания метана на 1 % дает вклад в парниковый эффект примерно в 84 раза более высокий, чем последствия от увеличения на 1 % содержания двуокиси углерода [16]. Потенциал метана как ПГ более чем в 80 раз превышает СО₂. Несомненно, эта цифра еще будет меняться по мере накопления новых данных наблюдений.

Основные антропогенные источники метана [13; 17–20].

Отходы. Захороненные на полигонах отходы являются значительным источником выброса метана, так как содержат много влажного органического материала и в результате создаются анаэробные условия, способствующие образованию этого газа с участием бактерий. Значительное количество метана также выделяется при производстве компостов, в том числе с использованием навоза.

Сточные воды. Обработка промышленных и бытовых стоков в биологических очистных сооружениях или отстойниках, где имеются анаэробные условия для развития метаногенных бактерий, также является источником выбросов метана.

Угольная промышленность. При добыче угля из месторождений в атмосферу поступает метан как непосредственно выделяющийся при добыче угля, так и получаемый при дегазации угольных пластов, а также из шахт, где прекращена добыча. Количество выделяемого газа может быть уменьшено при применении специальных технологий для его извлечения и утилизации.

Горение биомассы и топлива. При неполном сгорании органических веществ как при использовании топлива, так и при сжигании сельскохозяйственных остатков и других органических отходов также выделяется метан. Его основной глобальный источник находится в Африке, где широко практикуется сжигание соломы при подготовке почвы для нового урожая.

Добыча, переработка, транспортировка, хранение и распределение природного газа и нефти могут сопровождаться выбросами метана. Его источниками при этом являются негерметичные емкости для транспортировки и технологическая необходимость стравливания газа при проводимых ремонтах, пусках-становках оборудования на производственных площадках и т. д.

Животноводство. Жвачные животные (коровы, овцы и козы) производят метан в процессе пищеварения.

Рисовые поля. Рисовые поля являются интенсивным источником метана, так как они значительное время покрыты водой, что создает благоприятные условия для развития анаэробных метаногенных бактерий. Считается, что газ поступает в атмосферу в основном через рисовые растения, так как без них аналогично обработанные поля дают поток метана примерно в 50 раз меньше.

Изменению климата и одновременно разрушению стратосферного озона способствуют выбросы оксида азота. На данный момент этот газ является третьим по степени воздействия на изменение климата соединением после углекислого газа и метана [21].

Закись азота естественным образом присутствует в атмосфере в рамках азотного цикла Земли и имеет множество природных источников. Однако деятельность человека (сельское хозяйство, сжигание ископаемого топлива, очистка сточных вод и промышленные процессы) увеличивает количество N₂O в атмосфере. Молекулы закиси азота остаются в атмосфере в среднем 114 лет, прежде чем попадают в поглотитель или разрушаются в результате химических реакций.

В соответствии с результатами анализа ключевых категорий выбросов ПГ в секторе «Отходы» выделяют следующие основные источники [22]:

5.А. Захоронение твердых отходов – основной источник выбросов метана.

5.В. Биологическая обработка твердых отходов приводит к выбросам метана и закиси азота.

5.С. Сжигание и открытое горение отходов – источники выбросов углекислого газа, метана и закиси азота.

5.Д. Очистка и сброс сточных вод способствуют образованию метана и закиси азота.

В рамках группы 5.А. выделяются следующие источники:

5.А.1. Управляемые полигоны и свалки:

5.А.1.а. Анаэробные управляемые свалки.

5.А.1.б. Полуанаэробные управляемые свалки.

5.А.2. Неуправляемые свалки.

5.А.3. Свалки без определенной категории – случаи, когда отсутствуют данные о разделении отходов по объектам захоронения.

Выбросы от открытого сжигания отходов также включаются в категорию «5.С. Сжигание и открытое горение отходов».

В Республике Беларусь одной из стратегических целей государственной политики в сфере обращения с отходами является минимизация их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье граждан, а также максимальное вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов. По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, в 2023 г. в стране образовалось 3 933 тыс. т твердых коммунальных отходов, из которых лишь 34,4 % было использовано, а остальная часть отправлена на объекты захоронения.

Выбросы ПГ в системе обращения с отходами преимущественно представляют собой метан, который образуется в результате анаэробного разложения органических компонентов ТКО. На неуправляемых свалках, где отсутствует должный контроль за процессами разложения, выбросы метана могут значительно превышать нормы. Это связано с недостаточным мониторингом и отсутствием технологий его улавливания и переработки [23].

Биологическая обработка твердых отходов, включая компостирование и анаэробное разложение, также приводит к значительным выбросам ПГ. В процессе анаэробного разложения органических материалов в условиях недостатка кислорода образуется метан, который выделяется как на свалках, так и на установках для биологической обработки отходов. При компостировании могут также образовываться выбросы закиси азота.

Инсинерация и открытое сжигание отходов, которые содержат ископаемый углерод, например, пластмассу, является определяющим источником выбросов двуокиси углерода в секторе «Отходы». Процесс сжигания приводит к образованию углекислого газа, который, хотя и менее мощный по сравнению с метаном и закисью азота, все же вносит значительный вклад в общий объем выбросов ПГ.

Следует отметить, что открытое сжигание отходов может также приводить к выбросам токсичных веществ и других загрязняющих газов, что негативно сказывается на качестве воздуха и здоровье населения.

Очистка и сброс сточных вод представляют собой еще один источник выбросов ПГ в секторе «Отходы». Так, в процессе очистки сточных вод, особенно в анаэробных условиях, могут образовываться метан и закись азота. Эти выбросы происходят как на этапах биологической очистки, так и при разложении органических веществ в сточных водах.

Согласно Восьмому Национальному сообщению Республики Беларусь, общая эмиссия ПГ в Республике Беларусь в эквиваленте CO_2 без сектора «ЗИЗЛХ» составляла в 1990 г. 145 461,61 Гг в эквиваленте CO_2 и снизилась в 2020 г. по сравнению с 1990 г. до 88 802,06 Гг на 38,95 %. По сравнению с 2019 г. (92 183,17 Гг) произошло незначительное снижение на 3,67 %, главным образом за счет секторов «Энергетика» и «ППиИП».

В целом, по Беларуси в эмиссиях ПГ без учета сектора «ЗИЗЛХ» выбросы CO_2 составляют 65,98 %, выбросы CH_4 – 19,41 и N_2O – 14,35 %. К уровню 1990 г. это соотношение было соответственно 74,48 %, 14,33, 11,19 %.

Поглощение CO_2 происходит только в секторе «ЗИЗЛХ», что составило в 2020 г. 38 221,89 Гг.

Такие вещества, как ГФУ, ПФУ и SF_6 , в Беларуси не производятся. Они поступают в составе оборудования и не оказывают существенного влияния на общие выбросы ПГ в связи с их незначительным объемом использования.

Общий объем выбросов ПГ в секторе «Отходы» в 2020 г. составил 5 829,72 Гг в эквиваленте CO_2 . Основным источником выбросов парниковых газов являются выбросы, связанные с очисткой сточных вод как промышленных, так и коммунальных – 51,81 %. Значительным источником выбросов также являются ТКО, которые вывозятся для захоронения на полигоны. На их долю приходится 47,71 %. Остальные 0,48 % выбросов связаны со сжиганием промышленных отходов в печах [24].

Всего в секторе «Отходы» доля выбросов CH_4 от захоронения коммунальных отходов и от сточных вод составляет 32,76 % от общего объема национальных выбросов метана и 4,17 % от всех выбросов N_2O .

Заключение

Сектор «Отходы» представляет собой значительный источник антропогенных выбросов ПГ, оказывая существенное влияние на глобальное изменение климата. Проведенный анализ выявил, что основными источниками выбросов ПГ в данном секторе являются полигоны захоронения ТКО и установки очистки сточных вод. Захоронение ТКО является доминирующим источником метана (CH_4), который образуется в результате анаэробного разложения органической фракции отходов на полигонах. Кроме того, процесс очистки и сброса сточных вод также вносит значительный вклад в выбросы ПГ, генерируя как метан, так и закись азота (N_2O).

В 2020 г. общий объем выбросов от сектора «Отходы» в Республике Беларусь составил 5 829,72 Гг в эквиваленте CO_2 . При этом метан, образующийся в результате захоронения отходов и обработки сточных вод, составляет 32,76 %, а закись азота 4,17 % от суммарного объема выбросов по всем секторам. Эти данные подчеркивают необходимость разработки и реализации эффективных стратегий управления отходами с целью снижения антропогенных выбросов и минимизации их воздействия на климатическую систему.

Библиографические ссылки

1. Глобальная климатическая угроза и экономика России: в поисках особого пути. [Интернет; процитировано 17 августа 2025]. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf.
2. Хомич ВС, редактор. *Разработать прогноз состояния окружающей среды Беларусь на период до 2035 года*. В: № ГР 20192690. Отчет о НИР (промежуточный). Минск: Институт природопользования НАН Беларусь; 2020. 315 с.
3. Данилович ИС, Логинов ВФ. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларусь. *Центральноазиатский журнал географических исследований*. 2021;1(2):35–48.
4. Родькин ОИ, Черненок ЕВ. *Оценка выбросов парниковых газов при сжигании биотоплива*. В: *Наука – образованию, производству, экономике. Материалы 16-й Международной научно-технической конференции*. Минск : БНТУ; 2018. Том 3. с. 211.
5. Верещак ЕВ, Тихонова ИО. Оценка выбросов парниковых газов при размещении твердых коммунальных отходов на полигонах. *Успехи в химии и химической технологии*. 2021;12:27–30.
6. Wünsch C, Tsybina A. Municipal solid waste management in Russia: potentials of climate change mitigation. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2022;19:27–42.
7. IPCC – Climate Change 2013: The Physical Science Basis [Internet; cited 2025 August 13]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/262677624_IPCC_2013.
8. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018 / World Meteorological Organization. Geneva, 2019. [Internet; cited 2025 August 17]. Available from: https://environmentalmigration.iom.int/sites/g/files/tmzbd1411/files/documents/1233_en.pdf.
9. ISO 14067 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification. First edition 2018-08. Genova: [publisher unknown]; 2018. 47 р.
10. Игглестон ХС, Буэндия Л, Мива К. МГЭИК 2006. *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов : Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Отходы. Часть 1. Том 1*. Япония: ИГЕС; 2006.
11. World Scientists Warning of a Climate Emergency. *BioScience*. 2022;72(12):1149–1155.
12. Морев СЮ. *Новые технологии утилизации углекислого газа как средства решения экологических проблем*. В: Грачева ЕП, редактор. *Проблемы экологического образования в XXI веке: Труды III Международной научной конференции (очно-заочной), посвященной 100-летию педагогического института, г. Владимир, 6 декабря 2019 года*. Владимир: Владимирский государственный университет; 2019. с. 127–134.
13. Устойчивое развитие: экологические проблемы. В: *Сборник материалов IV региональной научно-практической конференции*, г. Брест. 22 ноября 2012 года. Брест: БрГУ им. А. С. Пушкина; 2013. 90 с.
14. Бондур ВГ, Мохов ИИ, Макоско АА. *Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты*. Москва: Российская академия наук; 2022. 389 с.
15. Ишков АГ. *Роль метана в изменении климата*. НИИПЭ, Неправительственный экологический фонд имени В. И. Вернадского. Москва: Российская экологическая академия; 2018. 135 с.
16. Плотникова ИН, Володин СА, Kochнева ЮЮ. *Актуальные вопросы декарбонизации. Часть 1*. Казань: Издательство «ФЭН» Академии наук РТ; 2021. 56 с.
17. Современные глобальные изменения природной среды. Том 4. *Факторы глобальных изменений*. Москва: Научный мир; 2012. 539 с.
18. Бажин НМ. Метан в атмосфере. *Соросовский образовательный журнал*. 2000;6(3):52–57.
19. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, editors. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press; 2014. 1419 р.
20. Танырбердиева Н, Танырбердиева Э. Выбросы метана и их влияние на окружающую среду. *Вестник науки*. 2023;9(66):297–300.
21. Kanter D, Mauzerall DL, Ravishankara AR, A post-Kyoto partner: Considering the stratospheric ozone regime as a tool to manage nitrous oxide. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. 2013;110(12):4451–4457.
22. Мелех ДВ, Михалевич РВ, Наркевич ИП. Использование твердых коммунальных отходов в качестве альтернативных видов топлива для сокращения выбросов парниковых газов в секторах «Энергетика» и «Отходы» Республики Беларусь. *Труды БГТУ. Серия 2. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*. 2021;2(247):205–213.
23. Черанёва АА, Ильиных ГВ. Изменение объемов выбросов парниковых газов при централизации потоков твердых коммунальных отходов. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2022;3:26–35.

24. Наркевич ИП, редактор. Ведение государственного кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов. В: № 56/7/1.3.1.6/2021. *Отчет о выполнении работы по договору от 21.05.2021 г.* Минск: Бел НИЦ «Экология»; 2021. с. 9–13.

References

1. Global Climate Threat and Russia's Economy. In Search of a Special Path. Basis [Internet; cited 2025 August 17]. Available from: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEncC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf.
2. Khomich VS, editor. *Razrabotat' progonost sostoyaniya okruzhayushchey sredy Belarusi na period do 2035 goda. V: otchet o NIR (promezhutochnyi)* [Develop a forecast of the environmental state of Belarus for the period until 2035. In: No. GR 20192690. Interim report on R&D]. Minsk: Institute of Natural Resource Management of the National Academy of Sciences of Belarus; 2020. 315 p. Russian.
3. Danilovich IS, Loginov VF. *Tekushchie i ozhidaemye izmeneniya klimata na territorii Belarusi* [Current and Expected Climate Changes on the Territory of Belarus]. *Central Asian Journal of Geographic Research*. 2021;1(2):35–48. Russian.
4. Rodkin OI, Chernienok EV. *Otsenka vybrosov parnikovykh gazov pri szhiganii biotopliva* [Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Biomass Combustion]. In: Science – Education, Production, Economy. Materials of the 16th International Scientific and Technical Conference. Minsk: BNTU; 2018. Volume 3. p. 211. Russian.
5. Vereshchak EV, Tikhonova IO. *Otsenka vybrosov parnikovykh gazov pri razmeshchenii tverdykh kommunal'nykh otkhodov na poligonakh* [Assessment of greenhouse gas emissions from the landfilling of municipal solid waste]. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2021;12:27–30. Russian.
6. Wünsch C, Tsybina A. Municipal solid waste management in Russia: potentials of climate change mitigation. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2022;19:27–42.
7. IPCC – Climate Change 2013: The Physical Science Basis [Internet; cited 2025 August 13]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/262677624_IPCC_2013.
8. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018 / World Meteorological Organization. Geneva, 2019. [Internet; cited 2025 August 17]. Available from: https://environmentalmigration.iom.int/sites/g/files/tmzbd1411/files/documents/1233_en.pdf.
9. ISO 14067 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification. First edition 2018-08. Genrva: [publisher unknown]; 2018. 47 p.
10. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K. *MGEIK 2006. Rukovodящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов* [IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories]: IPCC Program on National Greenhouse Gas Inventories. Waste. 2006. Volume 1, Part 1. Japan: IGES; 2006. Russian.
11. World Scientists Warning of a Climate Emergency. *BioScience*. 2022;72(12):1149–1155.
12. Morev SYu. *Novye tekhnologii utilizatsii uglekislogo gaza kak sredstva resheniya ekologicheskikh problem* [New Technologies for Carbon Dioxide Utilization as a Means of Addressing Environmental Issues]. In: Gracheva EP, editor. Problems of Environmental Education in the 21st Century. Proceedings of the III International Scientific Conference (Hybrid Format) Dedicated to the 100th Anniversary of the Pedagogical Institute, Vladimir, 2019 December 6. Vladimir: Vladimir State University. 2019. p. 127–134. Russian.
13. *Ustoichivoe razvitiye: ekologicheskie problemy* [Sustainable Development: Environmental Issues]. In: Collection of Materials from the IV Regional Scientific-Practical Conference. Brest. 2012 November 22. Brest: A. S. Pushkin Brest State University; 2013. 90 p. Russian.
14. Bondur VG, Mokhov II, Makosko AA. *Metan i klimaticheskie izmeneniya: nauchnye problemy i tekhnologicheskie aspekty* [Methane and Climate Change: Scientific Problems and Technological Aspects]. Moscow: Russian Academy of Sciences; 2022. 389 p. Russian.
15. Ishkov AG. *Rol' metana v izmenenii klimata* [The Role of Methane in Climate Change]. Research Institute of Industrial and Environmental Economics (NIIPÉ), V. I. Vernadsky Non-Governmental Ecological Foundation. Moscow: Russian Ecological Academy; 2018. 135 p. Russian.
16. Plotnikova IN, Volodin, SA, Kochneva YuYu. *Akтуальные вопросы декарбонизации. Част 1* [Current Issues of Decarbonization. Part 1]. Kazan: «FEN» Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan; 2021. 56 p. Russian.
17. *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoi sredy* [Modern Global Changes in the Natural Environment]. Part 4. Factors of Global Change. Moscow: Nauchnyi Mir; 2012. 539 p. Russian.
18. Bazhin NM. *Metan v atmosfere* [Methane in the Atmosphere]. *Soros Educational Journal*. 2000;6(3):52–57. Russian.
19. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, editors. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press; 2014. 1419 p.
20. Tanyrberdieva N, & Tanyrberdieva E. *Vybrosy metana i ikh vliyanie na okruzhayushchuyu sredu* [Methane Emissions and Their Impact on the Environment]. *Science Herald. International Scientific Journal*. 2023;9(66):297–300. Russian.
21. Kanter D, Mauzerall DL, Ravishankara AR, A post-Kyoto partner: Considering the stratospheric ozone regime as a tool to manage nitrous oxide. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. 2013;110(12):4451–4457.
22. Melekh DV, Mikhalevich RV, & Narkevich IP. *Ispol'zovanie tverdykh kommunal'nykh otkhodov v kachestve al'ternativnykh vidov topliva dlya sokrashcheniya vybrosov parnikovykh gazov v sektorakh «Energetika» i «Otkhody» Respubliki Belarus* [The Use of Municipal Solid Waste as Alternative Fuels to Reduce Greenhouse Gas Emissions in the «Energy» and «Waste» Sectors of the Republic of Belarus]. *Proceedings of BSTU. Serie 2, Chemical Technology, Biotechnology, Geoecology*. 2021;2(247):205–213. Russian.
23. Chereneva AA, & Ilinykh GV. *Izmenenie ob'emov vybrosov parnikovykh gazov pri tsentralizatsii potokov tverdykh kommunal'nykh otkhodov* [Changes in Greenhouse Gas Emission Volumes from the Centralization of Municipal Solid Waste Streams]. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2022;3:26–35. Russian.
24. Narkevich IP, editor. *Vedenie gosudarstvennogo kadastra antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtii poglotitelyami parnikovykh gazov. № 56/7/1.3.1.6/2021. Otchet o vypolnenii rabot po dogovoru ot 21.05.2021 g.* [Maintenance of the State Cadastre of Anthropogenic Emissions from Sources and Absorption by Sinks of Greenhouse Gases. In: No. 56/7/1.3.1.6/2021. Report on the Work Performed under Contract dated 21.05.2021]. Minsk: RUE «BelNIC «Ecology»; 2021. p. 9–13. Russian.

Статья поступила в редакцию 26.08.2024.
Received by editorial board 26.08.2024.