

УДК 504.064.45

ВКЛАД КЛИМАТИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ ПОЛИГОНОВ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В ЭМИССИЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Гречитаева Марина Вячеславовна, д-р биол. наук, проф., профессор кафедры управления природопользованием, Государственный университет управления

Шамаева Екатерина Федоровна, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры управления природопользованием, Государственный университет управления

Аннотация

Исследование посвящено анализу эмиссии климатически активных веществ и формированию системы регулирования выбросов парниковых газов в Российской Федерации в контексте глобальных климатических изменений. Проведена комплексная оценка структуры выбросов основных парниковых газов с детализацией по отраслевым источникам. Проанализирована динамика выбросов ПГ в России за период 1990-2023 гг., выявлено снижение на 33,8% без учета ЗИЗЛХ и на 62,5% с его учетом. Исследован потенциал сектора отходов как значительного источника метановых выбросов (до 65 млн т CO₂-экв./год). Применен комплексный подход, включающий методы расчетного мониторинга по методикам МГЭИК, анализ данных наблюдательной сети Росгидромета, оценку технологических решений по улавливанию и утилизации свалочного газа. Обоснована экономическая эффективность внедрения технологий утилизации метана на полигонах ТКО.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: парниковые газы, углеродный след, климатическая политика, метан, сектор отходов, карбоновые полигоны, углеродная нейтральность, Парижское соглашение.

CONTRIBUTION OF CLIMATE-ACTIVE EMISSIONS FROM MAN-MADE RAW MATERIAL LANDFILLS TO ENVIRONMENTAL EMISSIONS

Grechitaeva Marina Vyacheslavovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Environmental Management, State University of Management

Shamaeva Ekaterina Fyodorovna, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Environmental Management, State University of Management

Abstract

The study focuses on analyzing the emission of climate-active substances and developing a system for regulating greenhouse gas emissions in the Russian Federation in the context of global climate change. The study provides a comprehensive assessment of the structure of emissions of major greenhouse gases, with a detailed breakdown by sectoral sources. It also analyzes the dynamics of greenhouse gas emissions in Russia over the period 1990-2023, revealing a decrease of 33.8% without taking into account forestry and a decrease of 62.5% with its inclusion. The potential of the waste sector as a significant source of methane emissions (up to 65 million tons of CO₂-eq/year) has been studied. A comprehensive approach has been applied, including the use of IAEK-based calculation methods for monitoring, the analysis of data from the Rosgidromet observation network, and the evaluation of technological solutions for capturing and utilizing landfill gas. The economic efficiency of implementing methane utilization technologies at municipal solid waste landfills has been substantiated.

KEYWORDS: greenhouse gases, carbon footprint, climate policy, methane, waste sector, carbon landfills, carbon neutrality, Paris Agreement.

Основная часть статьи

Эмиссия загрязняющих веществ в окружающую среду представляет собой поступление вредных веществ и других негативных воздействий, обусловленных хозяйственной или иной деятельностью человека. К основным видам эмиссии относятся

выбросы в атмосферный воздух, сбросы сточных вод, размещение отходов, а также физические воздействия, такие как шумовое и световое загрязнение.

Целью настоящего исследования явилось исследование вклада климатически активных выбросов, которые включают парниковые газы — метан (CH_4), диоксид углерода (CO_2), закись азота (N_2O) и другие вещества, способные существенно влиять на изменение климата и качество атмосферного воздуха.

Диоксид углерода (CO_2) поступает в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива, переработки отходов, дыхания живых организмов, а также в ходе промышленных процессов, таких как производство цемента.

Метан (CH_4) является вторым по значимости антропогенным парниковым газом. Основные источники: добыча и транспортировка угля, нефти и природного газа; сельское хозяйство (животноводство, рисоводство); разложение органических отходов на полигонах. Метан обладает потенциалом глобального потепления в 25 раз выше, чем CO_2 , при этом его время жизни в атмосфере составляет около 9,1 года. Снижение эмиссии метана способно заметно замедлить рост глобальной температуры.

Закись азота (N_2O) образуется в результате сельскохозяйственной деятельности (использование удобрений), промышленных процессов, сжигания топлива и отходов. Потенциал глобального потепления закиси азота более чем в 100 раз превышает аналогичный показатель для CO_2 , а время её жизни в атмосфере превышает 100 лет.

Угарный газ (CO) сам по себе является слабым парниковым газом, но опосредованно способствует увеличению концентрации метана в атмосфере. Основные источники — неполное сгорание топлива (включая выхлопные газы) и выбросы летучих органических соединений. Время жизни CO в атмосфере варьируется от нескольких недель до месяцев. С учётом косвенных эффектов его радиационное воздействие может превышать влияние некоторых других парниковых газов. Фторированные газы, несмотря на относительно незначительные объемы выбросов, образуются в результате ряда промышленных процессов и обладают исключительно высоким потенциалом глобального потепления, оказывая мощное воздействие на климат. Снижение эмиссии перечисленных веществ является важной задачей для смягчения последствий изменения климата и улучшения качества окружающей среды [Центр климатических исследований; Novelli P. C., 1998; Stocker, T. F., 2013].

В Российской Федерации мониторинг содержания парниковых газов в атмосфере осуществляется путём прямых измерений их концентрации на специализированных полигонах, моделирования процессов распространения и оценки влияния на экосистемы и

здравье населения. Получаемые данные о текущем состоянии атмосферы и многолетних тенденциях изменения концентраций парниковых газов используются для разработки климатических моделей, позволяющих прогнозировать изменения климата и их последствия для природы, экономики и общества.

Наблюдательная сеть Росгидромета за парниковыми газами в приземном слое атмосферы включает 5 станций, входящих в Глобальную службу атмосферы (ГСА). Три из них расположены в условиях, близких к фоновым: станция Териберка (Кольский полуостров, побережье Баренцева моря, $69,20^{\circ}$ с. ш., $35,10^{\circ}$ в. д., высота над уровнем моря – 40 м, период наблюдений с 1988 года, программа наблюдений - CO_2 , CH_4 с 1996 г), станция Тикси (побережье моря Лаптевых, $71,58^{\circ}$ с. ш., $128,92^{\circ}$ в. д., высота над уровнем моря – 30 м, период наблюдений с 2011 года, программа наблюдений - CO_2 , CH_4) и станция Мыс Баранова (остров Большевик, архипелаг Северная Земля, $79,16^{\circ}$ с. ш., $101,45^{\circ}$ в. д., высота над уровнем моря – 30 м, период наблюдений с 2016 года, программа наблюдений - CO_2 , CH_4). В 2024 году для анализа использовались данные со станции Мыс Баранова из-за недостаточности наблюдений в Тикси. Две другие станции — Новый Порт (полуостров Ямал, $67,68^{\circ}$ с. ш., $72,88^{\circ}$ в. д., высота над уровнем моря – 11 м, период наблюдений с 2002 года, программа наблюдений - CO_2 , CH_4) и Воейково (Ленинградская область, $59,98^{\circ}$ с. ш., $30,70^{\circ}$ в. д., высота над уровнем моря – 72 м, период наблюдений с 1996 года, программа наблюдений - CH_4 , CO_2 с 2021 г) — находятся в зонах влияния крупных антропогенных источников выбросов.

Данные станции Териберка передаются во Всемирный центр данных по парниковым газам (WDCGG) и используются в глобальном анализе распределения газов. Станция Тикси передавала данные в WDCGG до конца 2021 года. На обсерватории Воейково с 2021 года расширена программа наблюдений: здесь начаты регулярные измерения концентрации CO_2 .

Оценки антропогенных выбросов и поглощения парниковых газов (ПГ) на территории Российской Федерации производят с использованием методов расчётного мониторинга. Методической основой для проведения оценок служат руководящие документы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), утвержденные Совещанием Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). Подход МГЭИК основан на расчётных методах оценки выбросов и поглощения, которые опираются на количественные данные о годовых объёмах конкретных видов деятельности, ведущих к эмиссии или абсорбции ПГ.

Динамика выбросов и поглощения парниковых газов в разрезе секторов МГЭИК представлена на рис. 1. Основными факторами изменения выбросов в Российской Федерации являются общие тенденции развития национальной экономики, отражаемые динамикой ВВП, изменения общей эффективности экономики и её энергоэффективности, а также трансформация структуры ВВП и топливного баланса. Существенное влияние оказывают климатические факторы, в частности общий тренд и межгодовые колебания температуры, которые опосредованно воздействуют на объём потребления ископаемого топлива.

В 2020 году под влиянием пандемии COVID-19 и связанных ограничительных мер совокупный выброс ПГ (без учёта сектора землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства — ЗИЗЛХ) сократился на 3,6%. В 2021 году выбросы увеличились на 2,7% на фоне роста ВВП на 5,9%. В 2022 году совокупный выброс (без учёта ЗИЗЛХ) снизился на 0,2% при сокращении ВВП на 1,4%. В 2023 году выбросы продемонстрировали рост на 2,9% относительно уровня 2022 года, что соответствовало увеличению ВВП на 4,1%.

По сравнению с 1990 годом, который является базовым для обязательств Российской Федерации в рамках РКИК ООН и Парижского соглашения, в 2023 году совокупный объем выбросов парниковых газов значительно сократился. С учётом сектора землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) снижение составило 62,5%, а без учёта этого сектора — 33,8%.

Сектор ЗИЗЛХ, в котором поглощение CO₂ растительностью превышает выбросы парниковых газов, оставался значительным нетто-поглотителем. В 2023 году он компенсировал 56,3% выбросов, образовавшихся в других секторах экономики. Это демонстрирует ключевую роль природных экосистем в смягчении антропогенного воздействия на климат [Клименко В. и др., 2023].

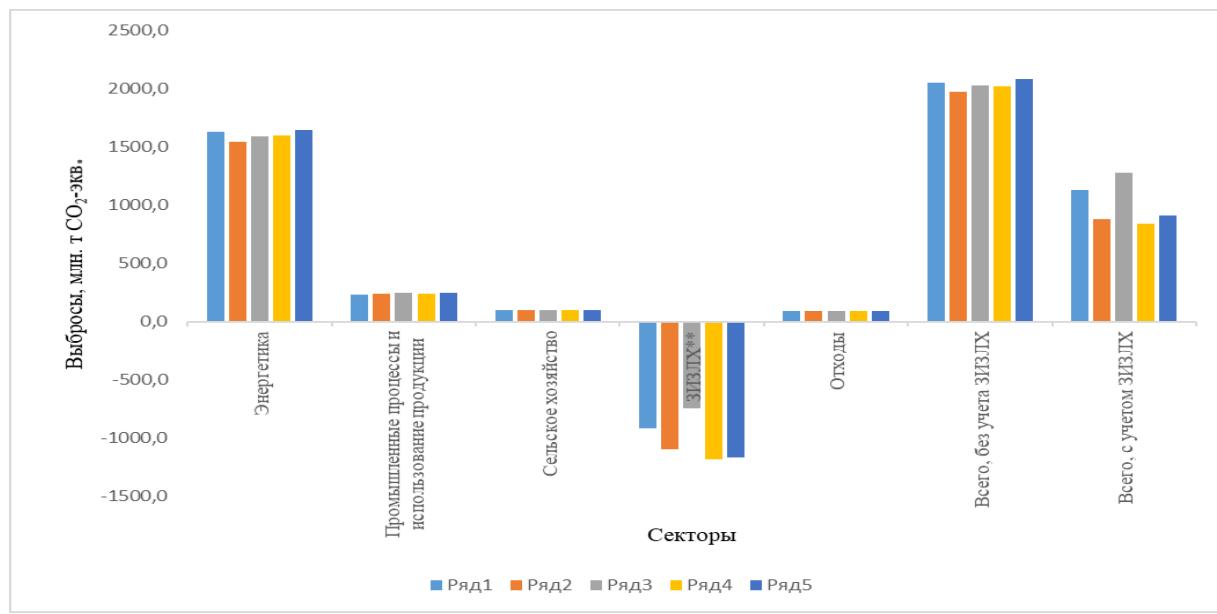


Рис. 1. Динамика выбросов и поглощения парниковых газов в РФ в разрезе секторов МГЭИК, где ряд 1 – 2019, ряд 2 – 2020, ряд 3 – 2021, ряд 4 – 2022, ряд 5 – 2023 гг. Отрицательные значения соответствуют поглощению парниковых газов из атмосферы

На рисунке 2 представлен вклад различных секторов МГЭИК в общий объем выбросов парниковых газов. Анализ динамики выбросов за период с 1990 по 2023 годы показывает относительную стабильность отраслевой структуры эмиссии. Ключевыми тенденциями являются следующие: энергетический сектор сохраняет доминирующую роль в структуре выбросов, наблюдается некоторое увеличение доли промышленных выбросов, отмечается снижение вклада сельскохозяйственного сектора, наиболее значительный рост – почти трехкратное увеличение – зафиксировано в секторе отходов и сточных вод. Данная динамика отражает структурные изменения в экономике и приоритетах экологической политики за рассматриваемый период. Увеличение доли сектора отходов требует особого внимания при разработке климатической стратегии, учитывая его растущее влияние на общий объем эмиссии парниковых газов.

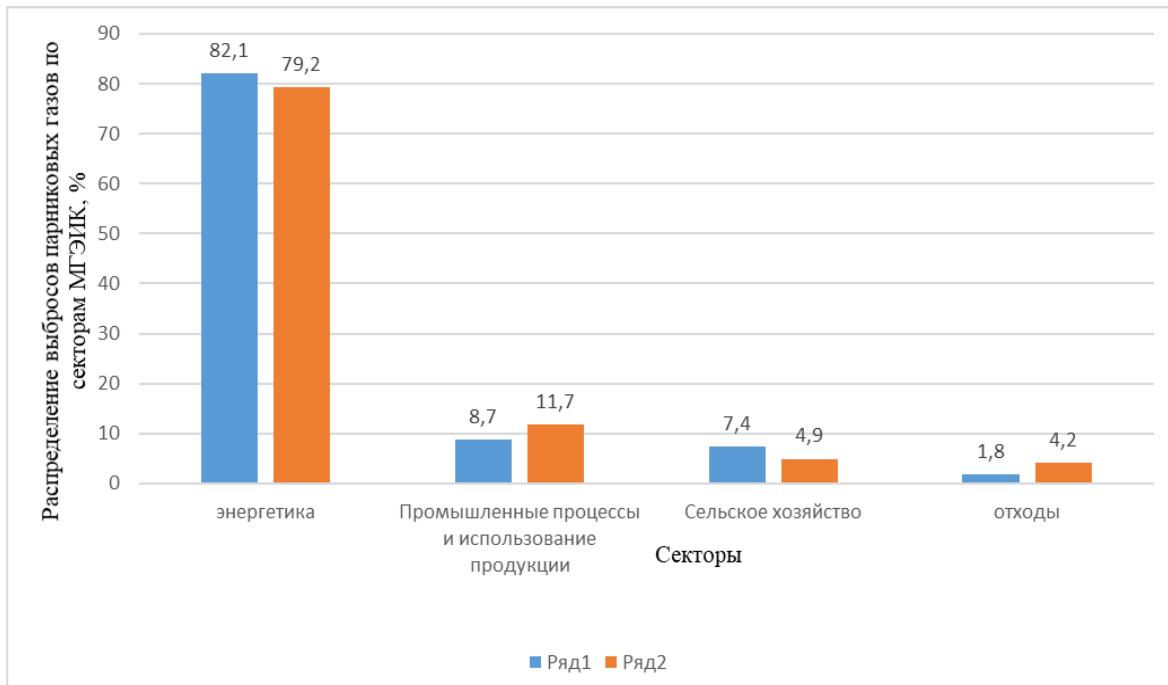


Рис. 2. Распределение выбросов парниковых газов по секторам МГЭИК, без учета сектора ЗИЗЛХ, %, где ряд 1 – 1990, ряд 2 – 2023 гг.

Россия принимает активное участие в деятельности Рамочной конвенции ООН по изменению климата, последовательно подписав и ратифицировав все ее основные документы. На федеральном уровне принят ряд стратегических документов, определяющих направления климатической политики нашей страны. К числу важнейших из них следует отнести: Климатическая доктрина Российской Федерации (утв. Распоряжением Президента РФ от 17.12.2009 г. № 861-рп), Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов», Федеральный закон от 02.07.2021 г. № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (утв. Распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 г. № 3052-р), Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 гг. (утв. Постановлением Правительства РФ от 08.02.2022 г. № 133) [Энергетическая стратегия России, 2020].

В соответствии с этими документами, Россия планирует к 2030 году ограничить выбросы парниковых газов уровнем 70-75% от показателей 1990 года, к 2060 году достичь углеродной нейтральности за счёт баланса между выбросами и их поглощением природными и технологическими системами.

Данные цели отражены на рисунке 3, демонстрирующем дорожную карту перехода к низкоуглеродной экономике [Клименко В. и др., 2023].

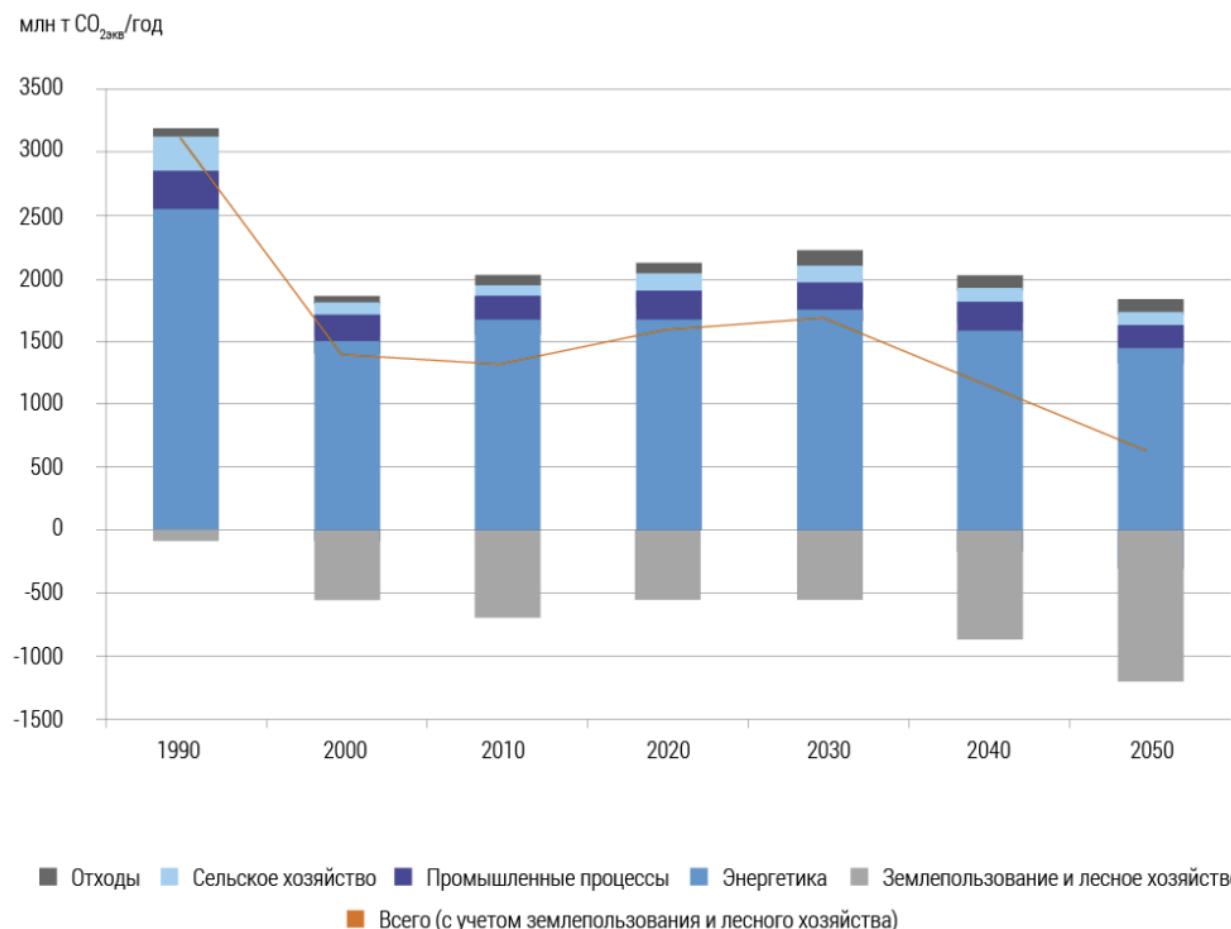


Рис. 3. Динамика выбросов и поглощения парниковых газов (в пересчете на диоксид углерода) из различных источников в России по целевому сценарию Стратегии низкоуглеродного развития (Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Утв. Расп. Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р)

Современный уровень эмиссии метана в Российской Федерации оценивается в диапазоне от 15 до 35 миллионов тонн в год, что эквивалентно 20–50 миллиардам кубических метров природного газа. Данный показатель составляет 5–12% от годового объема внутреннего потребления газа в стране и соответствует среднемировому значению в 9%.

Климатически активные выбросы полигонов образуются в результате следующих процессов: метан (CH_4) выделяется при анаэробном разложении органических отходов; диоксид углерода (CO_2) образуется при разложении органики, сжигании полимерных материалов и других химических процессах; летучие органические соединения испаряются из различных видов отходов и участвуют в формировании приземного озона, оказывающего негативное воздействие на здоровье человека и экосистемы.

Эмиссию ПГ на полигонах исследуют с использованием следующих методов: для измерения концентраций метана, углекислого газа используются портативные газоанализаторы непосредственно на территории полигона и вокруг него;

спектрофотометрический анализ проб воздуха в лабораторных условиях; компьютерное моделирование для прогнозирования движения загрязняющих веществ в атмосфере и оценки их воздействия на окружающую среду. Кроме того, экологический аудит позволяет обеспечить комплексный анализ всех стадий управления отходами на полигоне для выявления и устранения источников выбросов.

В международной практике успешно применяются технологии улавливания и использования метана: утилизация шахтного метана [Мазаник Е.В. и др., 2014] в угледобывающей отрасли, сбор и переработка свалочного газа [Нефедьев Н.Б., 2020; Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., 20210.

Несмотря на существующий технологический потенциал, в России реализуются лишь единичные проекты в данной области. Системная модернизация газовой инфраструктуры, внедрение технологий улавливания и утилизации метана способны обеспечить значительное сокращение выбросов парниковых газов, существенную экономию энергетических ресурсов, дополнительные источники энергоснабжения, снижение экологической нагрузки. Реализация данного потенциала требует разработки комплексной государственной политики и создания экономических стимулов для внедрения метаноулавливающих технологий в ключевых секторах экономики [Федосеева Т. А., 2023].

Для мониторинга выбросов парниковых газов применяется комплекс методов, включающий наблюдения на метеорологических станциях, лабораторные исследования, анализ спутниковых данных, дистанционное зондирование с использованием авиационных средств

Приоритетным направлением климатической политики является регулирование выбросов парниковых газов и переход к углеродной нейтральности. Российская Федерация, присоединившись к Парижскому соглашению 21 сентября 2019 года, взяла на себя обязательства по реализации плана снижения антропогенной нагрузки на климатическую систему. 29.10.2021 г. была утверждена Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Согласно этому документу РФ обязуется сократить выбросы парниковых газов до 70% от показателя 1990 года к 2030 году, а также определяет направление развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Сегодня основным документом, определяющим основы регулирования выбросов парниковых газов в РФ, является Федеральный закон от 02.07.2021 г. №296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов».

Система национального мониторинга включает проведение инвентаризации выбросов и поглощения парниковых газов, подготовку национальных докладов о кадастре антропогенных выбросов, количественное определение объемов выбросов и поглощений. Реализация этих мер демонстрирует обязательства Российской Федерации по выполнению международных климатических обязательств и формированию системного подхода к регулированию выбросов парниковых газов.

Отчёт предоставляется в государственный реестр выбросов парниковых газов, который ведёт уполномоченный федеральный орган. С 1 июля 2025 года за нарушения требований по представлению отчётности о выбросах парниковых газов предусмотрена административная ответственность. Для составления этой обязательной отчетности предприятиям и организациям необходимо выполнить инвентаризацию выбросов парниковых газов и количественное определение источников выбросов и поглощений парниковых газов. В соответствии с требованиями: Федерального закона № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов»; Методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации (Распоряжение Минприроды России №15-р от 16.04.2015 г.); Методики количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов (Приказ Минприроды России от 27.05.2022 г. №371); Приказа Минприроды России от 29 июня 2017 года N 330 «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема косвенных энергетических выбросов парниковых газов»; Постановления Правительства от 20.04.2022 № 707 «Об утверждении Правил представления и проверки отчетов о выбросах парниковых газов, формы отчета о выбросах парниковых газов, Правил создания и ведения реестра выбросов парниковых газов и о внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ».

Алгоритм инвентаризации выбросов парниковых газов следующий: назначить лиц, ответственных за проведение работ по количественному определению выбросов парниковых газов и подготовку сведений (отчетов) о выбросах парниковых газов; определить и документировать границы количественного определения выбросов парниковых газов; идентифицировать и классифицировать по категориям источники выбросов парниковых газов; на основании исходных данных и расчета выбросов парниковых газов за отчетный период подготовить сведения (отчет) о выбросах парниковых газов и пояснительную записку; хранить сведения (отчет) о выбросах парниковых газов в электронном и бумажном виде не менее 5 лет после окончания отчетного периода. Отчет об объемах выбросов

парниковых газов сдается в Минэкономразвития России в электронном виде, в сети “Интернет”, путем заполнения формы отчета в реестре выбросов парниковых газов. За невыполнение указанных действий предусмотрена административная ответственность. Штрафы по статье 8.5. КоАП РФ «Сокрытие или искажение экологической информации»: на граждан – от 500 до 1 000 рублей; на должностных лиц — от 3000 до 6000 рублей; на юридических лиц — от 20 000 до 80 000 рублей. Штрафы по статье 19.7. КоАП РФ «Непредставление сведений (информации)»: на граждан – от ста до трехсот рублей; на должностных лиц — от трехсот до пятисот рублей; на юридических лиц — от трех тысяч до пяти тысяч рублей. Государственной думой в первом чтении был принят законопроект о введении штрафов за непредставление или искажение отчета о выбросах парниковых газов. За непредставление или несвоевременное представление отчета о выбросах парниковых газов или представление в отчете заведомо недостоверной информации законодательством об ограничении выбросов предусмотрено вынесение предупреждения или наложение штрафа: на должностных лиц – 35 – 50 тыс. руб.; на предпринимателей – 100-250 тыс. руб.; на юридических лиц – 100-500 тыс. руб.

Федеральный закон №296-ФЗ устанавливает обязательные требования к регулированию выбросов парниковых газов для промышленных предприятий. В соответствии с законодательством, юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие деятельность с выбросами парниковых газов, включенной в утвержденный Правительством перечень, и имеющие объем выбросов 50 тысяч тонн СО₂-эквивалента и более в год, обязаны предоставлять соответствующую отчетность.

Ключевые требования и процедуры приведены ниже. Предоставление отчетов о выбросах за 2024 год в государственный реестр до 1 июля 2025 года. Отчетность направляется в уполномоченный федеральный орган. Инвентаризация выбросов проводится в соответствии с Федеральным законом №296-ФЗ от 02.07.2021, Методическими рекомендациями Минприроды России, Отраслевыми методиками количественного определения выбросов. Инвентаризация проводится в соответствии с алгоритмом, включающим назначение ответственных лиц, определение границ количественного определения выбросов, идентификацию и классификацию источников выбросов, подготовку отчета и пояснительной записки, хранение документации в течение 5 лет. Отчеты подаются в электронном виде через реестр выбросов парниковых газов. Ответственность за достоверность информации несут руководители предприятий. С 1 июля 2025 года за несвоевременно сданную отчетность предусмотрены штрафные санкции: по статье 8.5 КоАП

РФ: для юридических лиц - 20-80 тыс. рублей; по статье 19.7 КоАП РФ: для юридических лиц - 3-5 тыс. рублей; по новому законопроекту: для юридических лиц - 100-500 тыс. рублей. Данные меры направлены на создание системы обязательного отчетности по выбросам парниковых газов и формирование полноценной национальной системы регулирования выбросов.

Важно проводить оценку углеродного следа продукции, корпоративного углеродного следа продукции. Углеродный след представляет собой совокупный объем выбросов парниковых газов, связанных с деятельностью человека, работой компании или производством конкретной продукции. Его расчет позволяет количественно оценить экологическое воздействие на всех этапах - от добычи сырья до утилизации конечного продукта.

Зачастую очень сложно выделить углеродный след определенной продукции по всему жизненному циклу от добычи сырья до утилизации. Поэтому определяют углеродный след компании, а уже на его основе выделяют и углеродный след продукции. Углеродный след продукции регулируется стандартом ГОСТ Р ИСО 14067:2021 “Газы парниковые. Углеродный след продукции. Требования и руководящие указания по количественному определению и предоставлению информации”, включает количественную оценку выбросов парниковых газов на всех этапах жизненного цикла от добычи сырья, производства, транспортировки до использования и утилизации единицы продукции. Корпоративный углеродный след – это оценка совокупных выбросов от всей деятельности компании, служит основой для распределения выбросов на конкретные виды продукции, включает прямые и косвенные выбросы. Обычно в связи с трудностями точного распределения выбросов по всей цепочке создания стоимости часто применяется двухэтапный подход: расчет общего корпоративного углеродного следа, а на его основе - определение углеродного следа конкретной продукции. Такой подход обеспечивает большую точность расчетов и соответствует международным практикам углеродного учёта. Проведение такой оценки является важным шагом для разработки эффективных стратегий декарбонизации и повышения экологической прозрачности бизнеса.

Высшим уровнем экологической ответственности компании является достижение углеродной нейтральности — состояния, при котором объём производимых парниковых газов полностью компенсируется. Достижение этого возможно за счёт сокращения прямых выбросов от производственных процессов, уменьшения косвенных выбросов через

оптимизацию энергопотребления и логистических цепочек, участие в климатических проектах по поглощению углерода.

Процесс подтверждения углеродной нейтральности включает две стадии независимой экспертизы. Валидация состоит из анализа плана климатического проекта на соответствие установленным критериям и оценки реализуемости заявленных мер по снижению выбросов. Верификация включает в себя проверку полного комплекта отчетной документации, контроль корректности расчетов и методик измерений и оценку достоверности заявленных результатов по сокращению выбросов.

Экспертная оценка проводится аккредитованными органами по валидации и верификации, что обеспечивает объективность и достоверность декларируемых показателей углеродного следа. Данная процедура является обязательным условием для признания достижения углеродной нейтральности на национальном и международном уровнях.

Валидация и верификация проводятся на основании:

ГОСТ Р ИСО 14064-3-2007 “Газы парниковые. Часть 3. Требования и руководство по валидации и верификации утверждений, касающихся парниковых газов”;

ГОСТ Р ИСО 14065-2010 “Газы парниковые. Требования к органам по валидации и верификации парниковых газов для их применения при аккредитации или других формах признания”;

ГОСТ Р ИСО 14066-2013 “Парниковые газы. Требования к компетентности групп по валидации и верификации парниковых газов”.

Органы по валидации и верификации парниковых газов должны соответствовать требованиям, установленным положениями ГОСТ Р ИСО 14065-2014 “Газы парниковые. Требования к органам по валидации и верификации парниковых газов для их применения при аккредитации или других формах признания”.

Органы, осуществляющие валидацию и верификацию парниковых газов, должны соответствовать установленным нормативным требованиям. Основными регулирующими документами являются ГОСТ Р ИСО 14065-2014 "Газы парниковые. Требования к органам по валидации и верификации парниковых газов для их применения при аккредитации или других формах признания", Приказ Минэкономразвития России от 26.10.2020 № 707"Об утверждении критериев аккредитации и перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации". Персонал в подобных структурах должен иметь соответствующее образование и профессиональные знания, опыт работы в области валидации/верификации не менее 3 лет, а при необходимости - допуск к

работе с информацией, составляющей государственную тайну. Органы, осуществляющие валидацию и верификацию парниковых газов, должны иметь собственный веб-сайт с полной информацией об организации: наименование и реквизиты, номер аккредитации, контактная информация, состав органа (руководители и сотрудники), перечень используемых документов, стоимость услуг, права и обязанности заявителей. Соответствие национальным и международным стандартам, соблюдение требований Минприроды России, применение утвержденных методик расчета выбросов обеспечивают компетентность и независимость органов по валидации и верификации, что гарантирует достоверность результатов оценки выбросов парниковых газов [Лабораторные исследования, 2025].

Для точных измерений парниковых газов создаются специализированные карбоновые полигоны — научно оборудованные территории, которые позволяют проводить точные измерения выбросов парниковых газов, оценивать последствия изменений климата, исследовать эффективность климатических мер, мониторить состояние почв и их углеродопоглощающий потенциал.

Хотя отходы вносят меньший вклад в общий объем выбросов по сравнению с энергетикой, они являются значительным источником метана — высокоактивного парникового газа. Для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду необходима модернизация полигонов ТКО, развитие системы раздельного сбора отходов, расширение переработки мусора, вовлечение вторичного сырья в производственные циклы. Реализация этих мер может обеспечить снижение выбросов на более чем 55 млн тонн СО₂-эквивалента ежегодно, значительное сокращение эмиссии метана, создание экономику замкнутого цикла в сфере обращения с отходами. Данные меры представляются реалистичными для внедрения в России, учитывая текущие экологические инициативы и растущее внимание к проблеме изменения климата на государственном уровне.

Согласно данным Национального кадастра, ежегодные выбросы парниковых газов в России составляют приблизительно 2,12 млрд тонн в СО₂-эквиваленте. Оптимизация сферы обращения с отходами потенциально может сократить общие выбросы на 2,6%. Выбросы метана происходят от захоронения коммунальных и промышленных отходов на свалках и полигонах; от очистки коммунально-бытовых и промышленных сточных вод; метана и оксида азота - компостирования отходов; оксида азота - от сброса бытовых стоков в водоемы. Две трети всех выбросов в категории «Отходы» приходятся на выбросы метана от контролируемого размещения мусора на официальных полигонах. Объем выбросов парниковых газов в секторе отходов растет. Несмотря на сокращение численности

населения, с 1990 по 2019 годы выбросы парниковых газов от контролируемого размещения отходов увеличились на 146%, что обуславливает необходимость срочных мер по модернизации данной отрасли.

Существуют и применяются некоторые технологии снижения выбросов на полигонах ТКО. Среди них в числе технологий предварительной обработки отходов - сортировка и обработка отходов до размещения на полигоне, применение методов компостирования, аэробная и анаэробная биологическая обработка; в числе инженерно-технических технологий - устройство метаноокисляющих покрытий, совершенствование систем сбора биогаза, сооружение систем управления инфильтрацией вод. Особо можно выделить технологии использования вторичных материалов, например, замена первичного пластика вторичным, что может способствовать сокращению до 1 т СО₂-эквивалента на тонну материала. Интересны системы многократного использования: развитие сервисов аренды и проката товаров, создание ремонтных сервисов, внедрение стандартов долговечности и ремонтопригодности товаров. Эти меры позволяют сократить объемы производства товаров и упаковки, в том числе одноразовых. Разработка экологических упаковочных материалов, использование биоразлагаемых покрытий, внедрение материалов с повышенной устойчивостью к деградации можно так же отнести к технологиям снижения выбросов на полигонах ТКО. Большое значение имеют автоматизированные системы переработки отходов, среди которых – внедрение тотальной сортировки и роботизированной обработки, повышение их точности и эффективности, что, впрочем, связано с повышением затратности процедур.

Данные технологии демонстрируют значительный потенциал для сокращения выбросов метана и других парниковых газов от объектов размещения отходов. Их комплексное внедрение способно не только снизить экологическую нагрузку, но и создать экономические выгоды через использование вторичных ресурсов и развитие новых технологических секторов [Занини И.А., Ахобадзе В.Ш., 2024].

Свалочный газ, образующийся на полигонах ТКО, содержит 50-60% метана и может быть эффективно утилизирован. Даже его сжигание на месте или в отопительных системах позволяет снизить потенциальную опасность газа за счет преобразования в менее опасный для климата углекислый газ. Разработанные в России современные технологии позволяют улавливать 45-50% образующегося свалочного газа. Следовательно, модернизация полигонов ТКО в стране с учетом внедрения оборудования для улавливания свалочных газов, может привести к сокращению выбросов свалочных газов на 29–32,5 млн СО₂-

эквивалента, если учесть аналитические данные, свидетельствующие об общих объемах выбросов от ТКО около 65 млн т СО₂-эквивалента в год.

В российских регионах с проблемой старых мусорных полигонов последние целесообразнее уничтожать и открывать новые, современные. Международный опыт свидетельствует о целесообразности таких подходов. Так установка оборудования по улавливанию свалочных газов в турецкой Адане позволила за три года уловить более 685 тыс. т СО₂-эквивалента, произвести 15,6 МВт электроэнергии и трудоустроить более 130 человек. Модернизация действующих полигонов с установкой газоулавливающего оборудования и утилизацией метана в китайском городе Синьян позволила предотвращать выбросы 42 тыс. т СО₂-эквивалента.

Данные решения демонстрируют значительный потенциал для сокращения выбросов метана и соответствуют мировым практикам устойчивого управления отходами.

Масштабная модернизация системы обращения с отходами – актуальная мировая проблема, т.к. только 8% мировых отходов размещаются на санитарных полигонах, оборудованных системами сбора свалочного газа. В настоящее время используются следующие технологические подходы: установка факельных систем для сжигания свалочного газа при рекультивации полигонов, индивидуальный проектный подход для каждого объекта размещения отходов, приоритет рекультивации старых полигонов над их модернизацией. Курс, которым руководствуется Россия, это - создание новых технологических объектов вместо модернизации существующих полигонов. Здесь и строительство современных объектов с системами предварительной сортировки, и внедрение технологий извлечения вторичных материальных ресурсов, и изоляция мест накопления отходов от почвенных контактов. Согласно нацпроекту «Экология», к 2030 году все ТКО должны проходить через сортировку, а 50% из них должно быть утилизировано — то есть переработано или сожжено. Места накопления отходов должны быть отделены от почвы, потому что сточные воды тоже являются источником парниковых газов. Главным источником метана на полигонах является органика. Современные методы сортировки позволяют отбирать мелкие фракции, включая пищевые отходы, которые отправляют на компостирование.

Решение экологических проблем полигонов ТКО требует комплексного подхода, сочетающего проверенные методы с инновационными технологиями, и должно быть интегрировано в общую стратегию низкоуглеродного развития.

Таким образом, исследование вклада климатически активных выбросов полигонов техногенного сырья в эмиссию окружающей среды важно для решения нескольких задач: разработка мер по снижению выбросов (понимание источников и масштабов выбросов позволяет создавать более эффективные технологии утилизации отходов и системы газосбора на полигонах); оценка рисков для здоровья населения (анализ загрязняющих веществ помогает определить потенциальные риски для людей, живущих вблизи полигонов, и разработать меры защиты); формирование политики в области управления отходами (результаты исследований используются для разработки нормативных актов, направленных на сокращение вредных выбросов от промышленных и техногенных объектов).

Литература

1. Апажев, А.К. Инновационные технологии и техника утилизации отходов животноводства / Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. - 2021. - № 3 (33). - С. 79-83.
2. Занини, И.А. Разработка мероприятий по снижению эмиссии в окружающую среду от полигонов твердых коммунальных отходов / Занини И.А., Ахобадзе В.Ш. // Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327- 2024. - №1. - (дата обращения: 15.09.2025)
3. Клименко, В. Перспективы России в снижении выбросов метана и присоединении к Глобальному соглашению по метану / Клименко, В., Терешин А., Коликов К., Бернадинер И. // ЭП. - 2023. - №11 (190). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-rossii-v-snizhenii-vybrosov-metana-i-prisoedinenii-k-globalnomu-soglasheniyu-po-metanu> (дата обращения: 23.09.2025).
4. Лабораторные исследования промышленных выбросов <https://sangik.ru/services/laboratornye-issledovaniya/laboratornye-issledovaniya-promyshlennyyh-vybrosov> (дата обращения 24.09.2025)
5. Мазаник, Е.В. Использование шахтного метана: современное состояние, задачи и перспективы развития / Мазаник Е.В., Могилева Е.М., Коликов К.С. // Горная промышленность. - 2014. - № 1 (113). - С. 59–64
6. Нефедьев, Н.Б. Организационно-методические вопросы оценки количества парниковых газов на российских полигонах ТБО / Нефедьев Н.Б. // Коммерческое использование свалочного газа: Матер. 5-го Междунар. конгр. «Вэйстэк-2007». Москва, 28–29 мая 2007 г.) . – С.25-32

7. Федосеева, Т. А. Методы мониторинга парниковых газов / Федосеева Т. А. // Инновации и инвестиции. - 2023. - №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-monitoringa-parnikovyh-gazov> (дата обращения: 15.09.2025).
8. Центр климатических исследований Университета Восточной Англии (CRU). – URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (дата обращения 23.09.2025)
9. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р.
10. Novelli, P. C. Distributions and recent changes of carbon monoxide in the lower troposphere / Novelli P. C., Masarie, K. A., and Lang, P. M. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 103, 19 015–19 033, <https://doi.org/10.1029/98JD01366>, 1998.
11. Stocker, T. F. Technical Summary, in: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Alexander, L., et al. // Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.