

Атмосферные выбросы парниковых газов от транспортного сектора в России за 2010-2023 гг.

V.A. Грабар^{1)}, В.М. Лытов^{1,2)}*

¹⁾ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»,
Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

*Адрес для переписки: *v774007@yandex.ru*

Реферат. В статье представлены результаты количественной оценки эмиссии парниковых газов от внутреннего транспорта, а также от международных морских и воздушных перевозок с территории России за рубеж за период 2010-2023 гг. Динамика выбросов парниковых газов определялась, в основном, тенденциями развития экономики, торговли и показателями деятельности транспортного комплекса РФ. Ограничительные меры в связи с пандемией COVID-19 и введение антироссийских санкций также оказали влияние на величину выбросов. В 2023 г. выбросы парниковых газов от внутреннего транспорта увеличились на 40% по сравнению с 2010 г. и составили 218 млн. т СО₂-экв. На международные авиационные и морские перевозки приходилось 3% и 9% общего объема выбросов парниковых газов от транспортного сектора РФ, соответственно. В ближайшие годы можно ожидать увеличения выбросов парниковых газов от российского транспортного сектора в связи с повышением спроса на транспортные услуги. Введение антироссийских санкций способствует росту глобальной эмиссии диоксида углерода от перевозок за счёт изменения международной транспортной логистики, увеличения транспортных издержек и использования менее эффективных транспортных коридоров и маршрутов.

Ключевые слова. Парниковые газы, выбросы, расчёт, внутренний транспорт, международные перевозки, международные сравнения, драйверы.

The atmospheric greenhouse gas emissions from transport sector in Russia for the years 2010-2023

V.A. Grabar¹⁾, V.M. Lytov^{1,2)}

¹⁾Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107058, Moscow, Russian Federation

²⁾ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
64, Leningradskay avenue, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: *v774007@yandex.ru*

Abstract. The results of greenhouse gas emissions assessment from the transport sector in Russia for the period 2010-2023 are presented in the article. The dynamics of GHG emissions were mainly determined by the trends in economic and trade development, as well as key indicators of the Russian transport sector. COVID-19 pandemic restrictions and anti-Russian sanctions also had an impact on emission. In 2023, GHG emissions from domestic transport increased by 40% compared to 2010, reaching 218 million tons of CO₂ equivalent. International aviation and maritime transport accounted for 3% and 9% of the total GHG emissions from the Russian transport sector, respectively. In the coming years it can be expected an increase in GHG emissions from the Russian transport sector due to the growing demand for transportation services. Anti-Russian sanctions are contributing to the growth of global carbon dioxide emissions from transport due to changes in international transport logistics, increased transport costs and the use of less efficient transport corridors and routes.

Keywords. Greenhouse gases, emissions, calculation, domestic transport, international shipping and aviation, international comparisons, drivers.

Введение

С начала индустриальной эпохи глобальное потепление в мире превысило 1.2°C, при этом в каждом десятилетии температура была выше, чем в предыдущем. Согласно данным Шестого доклада об оценках Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) антропогенные выбросы парниковых газов (ПГ) в атмосферу оказывают решающее воздействие на климатические изменения (IPCC, 2023). Для России регулирование выбросов парниковых газов особенно актуально. По оценке Росгидромета, средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха в стране в 1976-2020 гг. составила 0.51°C за десятилетие, что в 2.8 раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период (Доклад, 2021).

Транспорт генерирует около 15% общемировых выбросов ПГ и около 23% глобальных выбросов диоксида углерода, связанных со сжиганием топлива в энергетическом секторе. При этом, на дорожные перевозки приходится три четверти (74.5%) транспортных выбросов, из которых большая часть поступает от легковых автомобилей и автобусов, на долю которых приходится 45.1%, оставшиеся 29.4% относятся к грузовым автомобильным перевозкам. Выбросы от авиации и судоходства составляют 11.6% и 10.6% соответственно. Железнодорожные перевозки вносят около 1% в суммарные выбросы от транспорта. На другие виды транспорта, главным образом трубопроводный, приходится оставшиеся 2.3% (IEA, 2020a; Jaramillo, Kahn Ribeiro et. al., 2022).

Необходимо отметить, что за последние 70 лет развитие транспорта в мире осуществлялось стремительными темпами. За этот период население Земли увеличилось в три раза, при этом объемы пассажирских перевозок выросли в 15 раз, товарные грузопотоки – в 20 раз, количество автомобилей выросло в 22 раза. Согласно базе данных выбросов EDGAR в период с 1990 по 2023 гг. глобальные выбросы ПГ увеличились на 62%, при этом рост

выбросов в транспортном секторе составил за этот период 78% со среднегодовым приростом в 2.4%. В результате пандемии COVID-19 выбросы парниковых газов в транспортном секторе резко сократились на 14% в 2020 году, однако начиная с 2021 года они возобновили рост, увеличиваясь в среднем на 4.5% в год. Очевидно, что этот процесс невозможно остановить, и в ближайшие десятилетия объемы пассажирских и грузовых перевозок будут только увеличиваться, что повлечет за собой рост выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов. Так, прогнозируется, что к 2050 году объем пассажирских перевозок в мире возрастет более чем в 2 раза, по сравнению с 2015 годом, а грузовых – почти в 3 раза.

Основополагающим международным договором, положившим начало глобальному сотрудничеству по вопросам изменения климата, стала Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН), принятая в 1992 г. В 1997 г. количественные обязательства стран по ограничению или сокращению выбросов ПГ были закреплены в Киотском протоколе к РКИК ООН (Киотский протокол, 1997). При этом согласно статье 2.2 Киотского протокола, вопросами, связанными с выбросами ПГ при международных авиационных и морских перевозках, занимаются такие специализированные учреждения ООН как Международная организация гражданской авиации (ИКАО) и Международная морская организация (ИМО). В 2015 г. на смену Киотскому протоколу пришло Парижское соглашение по климату, суть которого заключается в удержании прироста глобальной средней температуры к концу XXI века намного ниже 2°C сверх доиндустриальных показателей и приложении усилий для ограничения роста температуры до 1.5°C. Инструментом реализации Парижского соглашения являются определяемые на национальном уровне вклады по сокращению выбросов ПГ (ОНУВ), которые каждая страна самостоятельно разрабатывает и реализовывает. Каждые 5 лет страны должны корректировать свои вклады в сторону ужесточения природоохранных мер и представлять их в секретариат РКИК ООН (Парижское соглашение, 2015). В настоящее время более 130 стран разработали и официально приняли стратегии декарбонизации экономики и утвердили цели по достижению углеродной нейтральности, в том числе США, Великобритания, Европейский союз, Япония, Южная Корея – до 2050 г., Казахстан, Китай – до 2060 г., Индия – до 2070 г. Главным определяющим документом декарбонизации российской экономики является Стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г., принятая в 2021 году. При целевом сценарии планируется сокращение нетто-выбросов парниковых газов на 60% от уровня 2019 и на 80% к 2050 от уровня 1990 года и последующее достижение углеродной нейтральности к 2060 году (Стратегия социально-экономического развития, 2021).

Для отслеживания выполнения принятых мировым сообществом целевых показателей важное значение приобретают мониторинг и уточнение количественных оценок выбросов ПГ. Надежная и точная инвентаризация выбросов ПГ позволяет эффективно проводить политику углеродного регулирования и способствует предотвращению изменения климата.

Целью данной статьи является количественная оценка выбросов основных ПГ (диоксида углерода, метана, оксида диазота) от дорожного транспорта, авиации, водного и железнодорожного транспорта при осуществлении внутренних перевозок, а также от международных воздушных и морских перевозок с территории России за рубеж с 2010 по 2023 гг., описание методических подходов и предложения к их усовершенствованию, анализ динамики и основных драйверов изменения выбросов, сравнение полученных результатов с международными показателями. Научная новизна работы заключается в использовании при расчётах национальных коэффициентов выбросов диоксида углерода от сжигания жидких видов топлив, что способствует более точному учёту выбросов парниковых газов.

Методы и материалы

При сжигании нефтепродуктов в двигателях внутреннего сгорания транспортных средств в атмосферу поступают диоксид углерода (CO_2), пары воды (H_2O), метан (CH_4), оксид диазота (N_2O), оксид углерода (CO), неметавовые летучие органические соединения (C_nH_m), окислы азота (NO_x) и серы (SO_x), аэрозоли, зольные соединения и др. (IPCC, 2006).

Расчеты выбросов ПГ от транспортного сектора в России были выполнены в соответствии с методологией МГЭИК (IPCC, 2006). Полученные оценки выбросов ПГ включены в ежегодно представляемый Российской Федерацией в органы РКИК ООН национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом.

Необходимо отметить, что оценка выбросов CO_2 лучше всего рассчитывается на основе количества и типа сгораемого топлива и содержания углерода в нем. При этом, содержание углерода в топливе является физико-химической характеристикой, присущей каждому конкретному виду топлива и не зависит от процесса или условий сжигания топлива. Если категория выбросов является ключевой, то странам рекомендуется разработать национальные коэффициенты эмиссии CO_2 на основе исследования компонентного состава используемых топлив в стране. Оценка выбросов других газов с парниковым эффектом (CH_4 и N_2O) более сложна, так как коэффициенты выбросов зависят от конструктивных особенностей транспортного средства, вида топлива, эксплуатационных характеристик транспортного средства, типа технологии контроля за выхлопными газами и др. В зависимости от доступности и полноты исходных данных расчет выбросов ПГ возможен по нескольким уровням сложности (уровень 1, 2 и 3). Чем больше информации о типе транспортного средства, режиме его работы и особенностях эксплуатации, тем выше может быть уровень расчета и точнее результат. Коэффициенты по умолчанию, указанные в Руководящих принципах МГЭИК, используются для расчетов по уровню 1 (IPCC, 2006).

Для пересчета выбросов CH_4 и N_2O в CO_2 -экв. были использованы потенциалы глобального потепления из Пятого Оценочного доклада МГЭИК, равные, соответственно, 28 и 265 (МГЭИК, 2013).

Подходы к оценке выбросов ПГ от воздушного, водного и железнодорожного транспорта в РФ

В категорию «Транспорт» включены только выбросы при сжигании моторного топлива, используемого в качестве источника энергии для двигателей внутреннего сгорания различных видов транспорта. Выбросы ПГ от воздушного, водного и железнодорожного транспорта рассчитывались на основе данных о массе израсходованного топлива и соответствующих конверсионных коэффициентов и коэффициентов эмиссии по формуле 1 (IPCC, 2006):

$$E_i = \sum_m FC_m \cdot CF_{TCEm} \cdot CF_{NCV} \cdot EF_{im} \quad (1)$$

где:

E_i – величина эмиссии парникового газа i , т;

FC_m – масса израсходованного топлива вида m , т;

CF_{TCEm} – коэффициент пересчета в тонны условного топлива в угольном эквиваленте по виду топлива m , т у.т. $\cdot t^{-1}$;

CF_{NCV} – коэффициент пересчета в теплотворную способность, ТДж $\cdot t^{-1}$;

EF_{im} – коэффициент эмиссии парникового газа i для топлива вида m , $t \cdot \text{ТДж}^{-1}$,

m – вид топлива (например, бензин, авиационный керосин, дизтопливо, природный газ и т.д.).

Оценка потребления топлива воздушным транспортом производилась расчетным путем по данным о налете самолето-часов Росавиации, а также удельных показателях расхода топлива по типам воздушных судов, предоставленных ФГУП Государственный научно-исследовательский институт Гражданской Авиации (далее – ГосНИИ ГА). Данные по потреблению топлива внутренним водным и железнодорожным транспортом были получены из Топливно-энергетического баланса РФ (далее – ТЭБ). Методика расчета выбросов парниковых газов от водного транспорта и авиации подробно описана в работах (Грабар и др., 2009; Грабар и др., 2011; Грабар и др., 2015; Дмитриева, Грабар, 2017).

В расчетах были использованы национальные коэффициенты выбросов CO_2 от сжигания жидкого топлива, полученные в рамках Важнейшего инновационного проекта государственного значения в результате исследования компонентного состава выбранных видов жидкого топлива¹⁾. На основе экспериментальных и расчетных данных был проведен анализ компонентного состава основных видов жидкого топлива (Ершов и др., 2024; Зеленова и др., 2024). В рамках работы была разработана расчетная модель, использующая в качестве основного источника данных ежегодные статистические сборники Центрального диспетчерского управления топливно-энергетического ком-

плекса, позволяющая оценить содержание углерода, теплоту сгорания и коэффициенты выбросов CO_2 различных топлив, производимых в Российской Федерации в период с 2010 по 2023 гг. Для некоторых видов топлив, которые не вошли в состав исследования, использовались коэффициенты выбросов по умолчанию, указанные в методике МГЭИК. Коэффициенты выбросов CO_2 , использованные в расчётах, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты выбросов CO_2 от сжигания отдельных видов жидких топлив, кг $\text{CO}_2/\text{TДж}$

Table 1. National CO_2 emission factors from the combustion of certain types of liquid fuels, kg CO_2/TJ

Год	Автомобильный бензин (н)*	Авиационный керосин (н)	Дизельное топливо (н)	Мазут топочный (н)	Сжиженный углеводородный газ	Сжатый компримированный газ (н)	Другие моторные топлива
2010	72320	73098	74374	77750	63100	54400	71900
2011	72156	73096	74393	77744	63100	54400	71900
2012	72198	73081	74369	77737	63100	54400	71900
2013	72163	73066	74375	77701	63100	54400	71900
2014	72020	73064	74358	77696	63100	54400	71900
2015	72047	73056	74340	77696	63100	54400	71900
2016	71939	73051	74359	77693	63100	54400	71900
2017	71998	73060	74343	77679	63100	54400	71900
2018	71962	73070	74330	77572	63100	54400	71900
2019	72070	73058	74327	77647	63100	54400	71900
2020	72002	73061	74329	77660	63100	54400	71900
2021	72007	73048	74317	77644	63100	54400	71900
2022	72100	73070	74307	77810	63100	54400	71900
2023	72087	73061	74322	77806	63100	54400	71900

***Примечание:** (н) – национальный коэффициент выбросов CO_2 от сжигания топлив

Для расчета выбросов CH_4 и N_2O использовались рекомендуемые МГЭИК коэффициенты эмиссии по умолчанию, значения которых приведены в табл. 2.

¹⁾Работа проведена в рамках договора на выполнение научно-исследовательской работы по теме «Проведение исследования компонентного состава приоритетных видов жидкого топлива» специалистами ООО «Центр мониторинга новых технологий» (независимая исследовательская компания, специализирующаяся на разработке новых продуктов и технологий, инжиниринге, экспериментальных и информационно-аналитических исследованиях и консалтинге в нефтегазовом секторе, нефтехимии и энергетике.). Экспериментальное исследование образцов жидкого топлива выполнялось совместно с Институтом нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХС РАН).

Таблица 2. Коэффициенты эмиссии CH₄ и N₂O по видам транспорта (IPCC, 2006)

Table 2. CH₄ and N₂O emission factors by types of transport (IPCC, 2006)

Вид топлива	Коэффициент эмиссии CH ₄ , т • ТДж ⁻¹	Коэффициент эмиссии N ₂ O, т • ТДж ⁻¹
Воздушный транспорт	0.0005	0.002
Ж/д транспорт	0.00415	0.0286
Водный транспорт	0.007	0.002

В настоящий время оценки выбросов ПГ для водного и железнодорожного транспорта основываются на обобщенных данных Топливно-энергетического баланса РФ о потреблении энергетических ресурсов и соответствуют уровню 1 методики МГЭИК. Полученные оценки выбросов можно считать оценками «сверху-вниз», т.е. без подробной детализации, например, по типам судов или локомотивов и т. д. В то же время, от точности расчетных оценок зависит эффективность организационных решений, направленных на снижение негативных эффектов на климат, поэтому совершенствование методик расчета является актуальной задачей. Статистическая информация, используемая для расчетов по уровню 1 не всегда бывает полной и достоверной. Для повышения точности оценок и перехода на более высокие уровни расчетов необходимо использовать детализированные данные по отдельным типам и моделям транспортных средств, интенсивности их использования, условиям эксплуатации, технологиям сжигания и нейтрализации выбросов на уровне отдельных эмитентов, что требует проведения отдельных научных исследований.

Использование более высоких уровней расчета поможет сократить неопределенности оценок выбросов, что позволит более эффективно формировать государственную климатическую политику, планировать и оценивать результаты мер по борьбе с изменением климата. Подробнее про оценку неопределенности выбросов для железнодорожного, водного и др. видов транспорта написано в (НДК, 2025).

Подходы к оценке выбросов ПГ от дорожного транспорта

Расчет выбросов ПГ от дорожного транспорта проводился с использованием инструментальных методов оценки (уровень 3 МГЭИК) на основе компьютерной модели/программы COPERT. Эмиссии ПГ от автомобилей в программе COPERT рассчитываются с учетом численности парка АТС разных типов, структуры парка по экологическому классу, среднегодовых пробегов, средней скорости движения, объема двигателя, вида топлива. Ранее, значительное количество входных показателей принималось по умолчанию или с использованием определенных допущений. Некоторые категории транспортных средств в принципе не учитывались в модели, например, автомобили, использующие сжиженный углеводородный (нефтяной) газ (далее – СУГ) и компримированный природный газ (далее – КПГ) в качестве моторного топлива.

В 2023-2024 гг. в рамках проекта ВИП Г3 профильными экспертами транспортного комплекса была разработана методика усовершенствования расчетного мониторинга (инструментального) выбросов ПГ от деятельности автомобильного и внедорожного транспорта Российской Федерации, а также проведен вероятностно-статистический анализ точности и неопределенности значений итоговых выбросов. Основные принципы и критерии данной методики были заложены при разработке программного продукта «Транспортная модель», которая позволяет проводить оценку выбросов ПГ на всем требуемом временном интервале, а также продлять временной период для дальнейшей инвентаризации.

Разработанная «Транспортная модель» формирует единую систему сбора и обработки исходной информации о функционировании автомобильного парка в детализации, необходимой для достоверной оценки выбросов ПГ от автомобильного и внедорожного транспорта. При инвентаризации выбросов проводится двухсторонняя проверка модельных (расчетных) оценок топливопотребления с данными ТЭБа. Приоритет отдается данным ТЭБа, и только в тех случаях, когда в ТЭБ наблюдаются подозрительные (аномальные) значения, они корректируются. Более подробно методика усовершенствования расчетного мониторинга выбросов от автомобильного и внедорожного транспорта описана в работах (Trofimenko et al., 2023; Лытов и др., 2024; Трофименко и др., 2025). Данная методика позволяет получать непротиворечивые и согласованные оценки объемов выбросов ПГ и газов-прекурсоров от автотранспорта и внедорожных мобильных машин.

Для включения категории «внедорожный транспорт» в Национальный кадастр необходимо добиться согласованной оценки потребления топлив автотранспортом, внедорожным транспортом и категориями стационарного сжигания во всем временном периоде (1990-2023 гг.). Внедрение данной категории ожидается в последующие годы.

По результатам выполненной работы, средние удельные национальные коэффициенты выбросов CH_4 и N_2O для различных категорий транспортных средств в период с 2010-2023 гг. представлены в табл. 3 и 4.

В настоящее время в расчетах используются удельные параметры расхода топлива (энергии) транспортных средств согласно программе COPERT, т. е. для автомобилей, эксплуатируемых в парке Европейского Союза. Дальнейшее развитие методологических подходов для оценок выбросов ПГ от дорожного транспорта должно быть направлено на повышение полноты охвата и достоверности исходных статистических данных о парке транспортных средств, непосредственно используемом в РФ.

Таблица 3. Средние удельные коэффициенты выбросов CH₄ по категориям транспортных средств²⁾, кг CH₄/ТДж

Table 3. Average specific CH₄ emission factors by vehicle category, kg CH₄/TJ

Год/Категория*	Легк. авто. – бенз.	Легк. авто. – диз. топл.	Легк. авто. – СУГ	Легк. авто. – КПГ	Легк. груз. авто. – бенз.	Легк. груз. авто. – диз. топл.	Тяж. груз. авто. и автобусы – бенз.	Тяж. груз. авто. и автобусы – диз. топл.	Тяж. груз. авто. и автобусы – КПГ	Мотоциклы – бенз.
2010	18.54	1.30	14.09	13.60	18.60	1.25	17.03	7.51	70.12	116.93
2011	17.43	1.11	13.84	13.60	17.77	1.06	17.03	7.16	69.26	114.73
2012	16.33	0.91	13.55	13.60	16.94	0.86	17.02	6.80	67.74	112.54
2013	15.22	0.72	13.31	13.60	16.10	0.67	17.02	6.45	70.80	110.34
2014	14.36	0.61	13.08	13.60	15.31	0.58	17.02	5.98	72.77	106.48
2015	13.84	0.54	12.93	13.60	14.39	0.51	17.01	5.77	73.43	101.99
2016	13.48	0.50	12.84	13.60	13.82	0.46	17.01	5.51	73.99	99.65
2017	12.82	0.42	12.71	13.60	13.60	0.44	16.99	5.02	74.30	98.64
2018	12.15	0.37	12.54	13.60	12.73	0.40	16.97	4.58	74.61	97.14
2019	11.81	0.35	12.39	13.60	12.29	0.39	16.95	4.40	75.21	94.68
2020	11.29	0.32	12.26	13.60	11.63	0.36	16.91	4.17	75.17	92.62
2021	10.76	0.29	12.16	13.60	10.90	0.32	16.85	3.88	75.16	89.88
2022	10.50	0.28	12.10	13.60	10.44	0.28	16.80	3.71	75.19	85.96
2023	10.35	0.27	12.06	13.60	10.34	0.30	16.80	3.57	75.54	83.36

Таблица 4. Средние удельные коэффициенты выбросов N₂O по категориям транспортных средств²⁾, кг N₂O/ТДж

Table 4. Average specific N₂O emission factors by vehicle category, kg N₂O/TJ

Год/Категория*	Легк. авто. – бенз.	Легк. авто. – диз. топл.	Легк. авто. – СУГ	Легк. авто. – КПГ	Легк. груз. авто. – бенз.	Легк. груз. авто. – диз. топл.	Тяж. груз. авто. и автобусы – бенз.	Тяж. груз. авто. и автобусы – диз. топл.	Тяж. груз. авто. и автобусы – КПГ	Мотоциклы – бенз.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2010	1.71	2.28	1.86	0.69	3.22	1.80	0.92	1.79	4,78	1,32
2011	1.61	2.37	1.82	0.67	3.17	1.91	0.92	1.79	4,89	1,32
2012	1.51	2.47	1.78	0.65	3.13	2.02	0.92	1.79	5.24	1.33
2013	1.41	2.56	1.74	0.64	3.08	2.13	0.92	1.79	6.31	1.33
2014	1.33	2.62	1.71	0.63	2.99	2.19	0.92	1.83	6.96	1.35
2015	1.29	2.64	1.69	0.62	2.97	2.23	0.92	1.84	7.19	1.36

²⁾Категории транспортных средств соотносятся с категориями, указанными в техническом регламенте таможенного союза о безопасности колесных транспортных средств по следующему принципу: Легковые автомобили – категория M1; Легковые грузовые автомобили – категория N1; Тяжелые грузовые автомобили и автобусы - категории N2, N3, M2, M3; Мотоциклы - L-категория.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2016	1.25	2.65	1.64	0.61	2.85	2.25	0.92	1.86	7.36	1.37
2017	1.17	2.69	1.60	0.60	2.75	2.27	0.92	2.00	7.44	1.37
2018	1.08	2.71	1.48	0.58	2.71	2.29	0.92	2.13	7.54	1.37
2019	1.06	2.72	1.50	0.56	2.96	2.29	0.92	2.18	7.58	1.37
2020	1.01	2.72	1.48	0.54	2.95	2.30	0.92	2.25	7.61	1.38
2021	0.96	2.70	1.44	0.53	2.73	2.32	0.91	2.35	7.63	1.39
2022	0.94	2.70	1.42	0.53	2.65	2.34	0.91	2.38	7.67	1.40
2023	0.92	2.68	1.41	0.53	2.56	2.33	0.91	2.47	7.68	1.40

Подходы к оценке выбросов от международных воздушных и морских перевозок.

Согласно методологии МГЭИК, выбросы от международного водного и воздушного транспорта охватывают все рейсы, выполняемые с территории Российской Федерации за рубеж, независимо от национальной принадлежности морского/воздушного судна. При этом, выбросы ПГ от рейсов из зарубежных стран в РФ не учитываются. Согласно терминологии МГЭИК, топливо, которое используется морскими и воздушными судами для осуществления международных перевозок, называется бункерным (IPCC, 2006).

Подходы к оценке выбросов ПГ от бункерного топлива аналогичны подходам для оценки выбросов при осуществлении внутренних перевозок. Расчет выбросов ПГ от авиационного и морского бункерного топлива выполнялся по формуле 1 (IPCC, 2006).

Для оценки потребления топлива при осуществлении международных перелетов с территории России за рубеж были использованы данные о налете воздушных судов Росавиации и данные по среднему часовому расходу топлива ГосНИИ ГА.

Расчет выбросов ПГ от морского бункерного топлива выполнялся на основе данных Информационно-аналитического агентства «ПортНьюс» (ИАА «ПортНьюс») о массе топлива, заправленного российскими и иностранными судами в портах РФ для осуществления международных морских и речных перевозок. В своих оценках ИАА «ПортНьюс» основывается на данных Федеральной таможенной службы России, администраций морских портов, ФГУП «Росморпорт», российских судоходных и бункеровочных компаний.

В расчетах были использованы национальные коэффициенты выбросов CO₂ (табл. 1) и коэффициенты CH₄ и N₂O по умолчанию МГЭИК (табл. 2) для авиационного керосина, мазута и дизельного топлива.

Результаты и обсуждение

Выбросы парниковых газов от воздушного, водного и железнодорожного транспорта во внутреннем сообщении

На рис. 1 представлена динамика выбросов ПГ от воздушного, водного и ж/д транспорта в России во внутреннем сообщении.

Как показали выполненные расчеты, с 2010 по 2019 гг. наблюдался восходящий тренд эмиссии ПГ от внутренней авиации. В 2020 г. выбросы ПГ сократились на 10% относительно уровня 2019 г. на фоне пандемии коронавируса, однако в 2021 и 2022 гг., по мере восстановления внутренних авиаперевозок, они снова начали расти. В 2021 году объём пассажиропотока на внутренних линиях не только полностью восстановился до уровня допандемийного 2019 года, но и превысил его. По данным Минтранса в 2021 году на внутренних воздушных линиях было перевезено более 87.5 млн пассажиров, что почти на 56% больше, чем в 2020 году, и на 20% превышает показатель 2019 года. В 2023 г. выбросы парниковых газов снизились и составили 14.7 млн. т СО₂-экв. Снижение выбросов в 2023 г. связано с уменьшением налета во внутреннем сообщении на 9.4% относительно 2022 г.

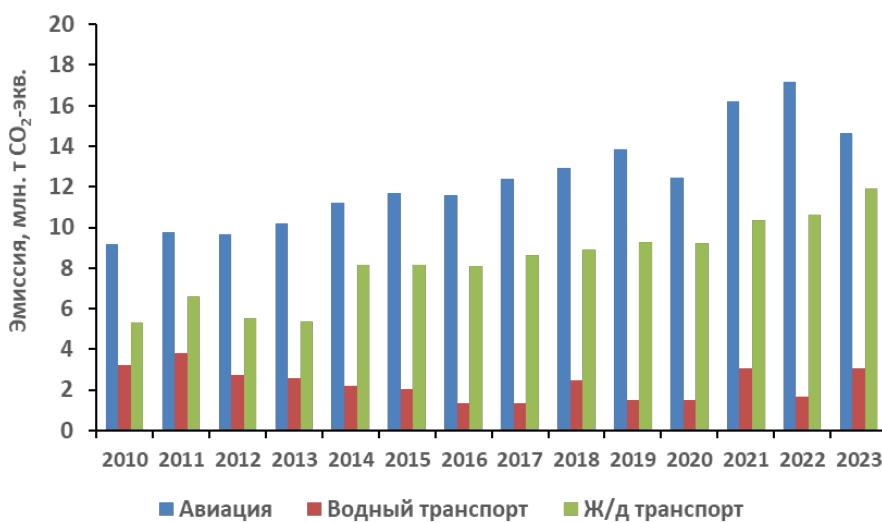


Рисунок 1. Динамика выбросов парниковых газов от воздушного, водного и ж/д транспорта во внутреннем сообщении

Figure 1. Dynamics of greenhouse gas emission from aviation, navigation and railway transport in domestic traffic

Расчеты показывают неравномерную динамику выбросов ПГ от водного транспорта по годам: снижение эмиссии на протяжении 2011-2017 гг., чередование периодов спада и роста выбросов с 2018 по 2023 гг. Изменение выбросов ПГ от водного транспорта связано с интенсивностью движения судов. В 2023 г. совокупная эмиссия СО₂, CH₄, N₂O от водного транспорта в России составила 3.1 млн. т СО₂-экв.

Железнодорожный транспорт является самым экологичным видом транспорта в пересчете на единицу выполняемой работы. Выбросы ПГ от железнодорожного транспорта связаны с эксплуатацией дизельных локомотивов от всех пассажирских и грузовых перевозчиков в стране. В целом за рассматриваемый период наблюдался рост выбросов ПГ с 5.3 млн. т CO₂-экв. в 2010 г. до 9.3 млн. т CO₂-экв. в 2019 г. В 2020-2021 гг. выбросы парниковых газов снизились в результате ограничений перевозок на фоне распространения пандемии коронавируса. В 2023 г. эмиссия CO₂ CH₄, N₂O от железнодорожного транспорта в России составила 11.9 млн. т CO₂-экв. Необходимо отметить, что из всех видов транспорта железнодорожный транспорт пострадал меньше всего от санкционного режима в 2022-2023 гг., поскольку ОАО «Российские железные дороги» функционируют в пределах национальной территории, а используемая техника и технологии почти полностью отечественные.

Выбросы парниковых газов от дорожного транспорта

На рис. 2 представлена динамика выбросов CO₂, CH₄ и N₂O от дорожного транспорта в период с 2010-2023 гг.

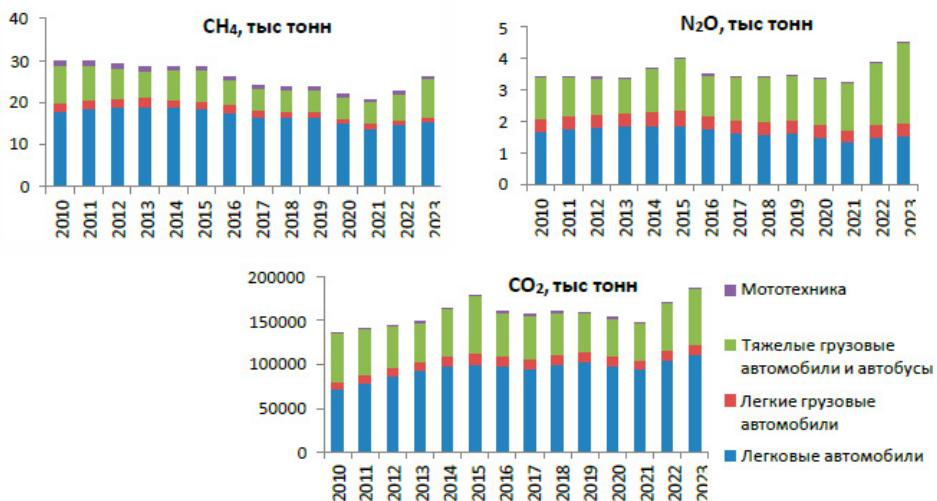


Рисунок 2. Динамика выбросов парниковых газов от дорожного транспорта с 2010-2023 гг., тыс. тонн

Figure 2. Dynamics of greenhouse gas emission from road transport from 2010 to 2023, kilotonnes

Как видно из рис. 2, выбросы CO₂ и N₂O показывают схожую динамику. В период с 2010-2015 гг. наблюдался рост выбросов ПГ. Начиная с 2016 года, ситуация стабилизировалась, произошло насыщение автопарка и выбросы начали постепенно снижаться до конца 2021 года. Так, в 2021 году выбросы составили 147.4 млн. тонн CO₂ и 3.27 млн тонн N₂O. Основными драйверами

сокращения выбросов послужило внедрение ряда высокоеффективных мер: запрет на продажу старых автомобилей низких экологических классов, введение стандартов топлива Евро 5 (ТР ТС 013/2011 и ГОСТ 32511-2013), повышение топливной эффективности автомобилей, введение утилизационного сбора, расширение использования природного газа в качестве моторного топлива, постепенное внедрение в автопарк гибридов и электротранспортных средств.

Эпидемия Covid-19 явилась основным фактором снижения выбросов ПГ от дорожного транспорта в 2020 г. В течение 2020 г. наблюдался спад производства и потребления нефтепродуктов. В 2021 г. потребление нефтепродуктов стало восстанавливаться до предыдущих уровней, однако в 2022 и 2023 гг. случился резкий рост потребления дизельного топлива, что сказалось на росте выбросов ПГ. В 2023 году выбросы CO_2 и N_2O увеличились на 26.7% и 37.6% относительно уровня 2021 г., достигнув 186.8 млн. тонн и 4.5 млн тонн, соответственно. За период с 2010 по 2023 г. увеличение выбросов CO_2 и N_2O от дорожного транспорта составило 36.8% и 31.3% соответственно.

Согласно рис. 2, с 2010-2021 гг. выбросы CH_4 стабильно снижались, однако после 2022 г. наблюдался их рост в связи с увеличением общего объема потребления топлива, особенно дизельного. В целом, за последние 10 лет, потребление дизельного топлива росло несколько большими темпами, чем автомобильного бензина. В 2023 г. выбросы CH_4 увеличились на 26.5% относительно уровня 2021 года и составили 26.3 млн тонн. За период с 2010-2023 гг. выбросы CH_4 сократились на 12.3%.

Выбросы ПГ от дорожного транспорта напрямую связаны с марочным составом, численностью, структурой автомобильного парка по типу, экологическому классу, возрасту транспортных средств, виду используемого топлива, среднегодовым пробегам и т. д. Глобально, уровень мобильности (населения), транспортной доступности и модернизации транспортной системы отражает текущую ситуацию, связанную с выбросами парниковых газов от автомобильного транспорта.

Суммарные выбросы парниковых газов от внутреннего транспорта в России

На рис. 3 представлены суммарные выбросы ПГ от внутреннего транспорта в России.

Как видно из рис. 3, с 2010 по 2015 гг. выбросы ПГ от внутреннего транспорта росли, достигнув 202.8 млн т CO_2 -экв. После 2015 г. наблюдалась тенденция к снижению выбросов, что связано с сокращением потребления топлива дорожным транспортом. В 2020-2021 гг. существенное влияние на функционирование всех видов транспорта оказала пандемия коронавируса. Введение ограничительных мер способствовало снижению выбросов в 2020 г. на 4% относительно 2019 г. Однако уже в 2022 г. рост выбросов от транспортного сектора возобновился. По данным Национального доклада о кадастре совокупные выбросы ПГ без учета землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства составили в 2023 г. 2082.9 млн т CO_2 -экв., при этом на сектор «Энергетика» приходилось

1649.5 млн. т CO₂-экв. (НДК, 2025). Как показывают выполненные нами расчёты, в 2023 г. выбросы CO₂, CH₄ и N₂O от внутреннего транспорта составили 218 млн т CO₂-экв., что эквивалентно 10.5% совокупных выбросов ПГ с территории России или 13% выбросов ПГ от сектора «Энергетика». В компонентном составе выбросов преобладал диоксид углерода, на долю которого приходилось 98.8% совокупного выброса. Выбросы CH₄ и N₂O составили 0.3% и 0.9%, соответственно.



Рисунок 3. Динамика выбросов парниковых газов от внутреннего транспорта в России

Figure 3. Dynamics of greenhouse gas emission from domestic transport in Russia

Основной вклад в выбросы парниковых газов от сжигания топлива на транспорте вносит дорожный транспорт (86.4%), за ним с большим отрывом следуют авиация (6.7%), железнодорожный транспорт (5.5%) и водный транспорт (1.4%).

Выбросы парниковых газов при международных авиационных и морских перевозках с территории РФ за рубеж

Расчетные значения выбросов ПГ от международных морских и воздушных перевозок с территории РФ представлены на рис. 4. Динамика выбросов ПГ обусловлена межгодовой изменчивостью потребления топлива в международном сообщении. Как видно из рис. 4, выбросы от международных морских перевозок превалируют над выбросами от международных авиаперевозок.

С 2010 по 2014 гг. наблюдался рост выбросов ПГ от международных воздушных и морских перевозок с территории РФ. Выбросы достигли максимума в 2014 г. и составили 62.7 млн т CO₂-экв. В 2015, 2016 гг. выбросы ПГ уменьшились, что обусловлено внешнеполитическими и внутриэкономическими факторами (сокращение числа популярных международных маршрутов на воздушном транспорте и отток транзитных бункеровок в результате

выравнивания цен на топливо в российских и зарубежных портах из-за девальвации рубля и снижения мировых цен на нефть на водном транспорте). В 2017-2019 гг. выбросы оставались примерно на одном и том же уровне, однако в 2020 году сократились на 35%, что связано с уменьшением потребления бункерного топлива вследствие пандемии коронавируса. Необходимо отметить, что из всего транспортного сектора отрасль международных воздушных перевозок значительнее всего пострадала от пандемии Covid-19. Так, снижение выбросов в 2020 г. составило 53% относительно уровня 2019 г. В 2022 году в связи с закрытием воздушного пространства ЕС, Великобритании и США для российских авиаперевозчиков вследствие санкционных ограничений эмиссия ПГ от международных воздушных перевозок сократилась на 30% относительно 2021 года и составила 4.9 млн т CO₂-экв. В то же время, в связи с уходом крупнейших западных операторов контейнерных перевозок из российских портов на фоне санкций, выбросы ПГ от международных морских перевозок с территории РФ уменьшились на 14% по сравнению с уровнем 2021 г. Однако уже в 2023 г. потребление морского бункерного топлива начало увеличиваться, что связано с завершением процесса перестройки логистики после шоковой ситуации 2022 года. Западные линии стали постепенно замещаться российскими операторами и перевозчиками из дружественных стран. Кроме того, в 2023 г. наблюдался рост международных авиационных перевозок из крупных региональных аэропортов РФ в направлении курортов Азии и Ближнего Востока, что способствовало увеличению выбросов ПГ от воздушного транспорта до 5.9 млн т CO₂-экв. В 2023 г. суммарные выбросы CO₂, CH₄ и N₂O от международных морских и авиационных перевозок с территории РФ составили 28.8 млн т CO₂-экв., что выше уровня 2022 г. на 23.6%. В компонентном составе выбросов преобладает CO₂, на долю которого в 2023 году приходилось 99.5% общего выброса. Выбросы CH₄ и N₂O составили 0.1% и 0.4% соответственно.

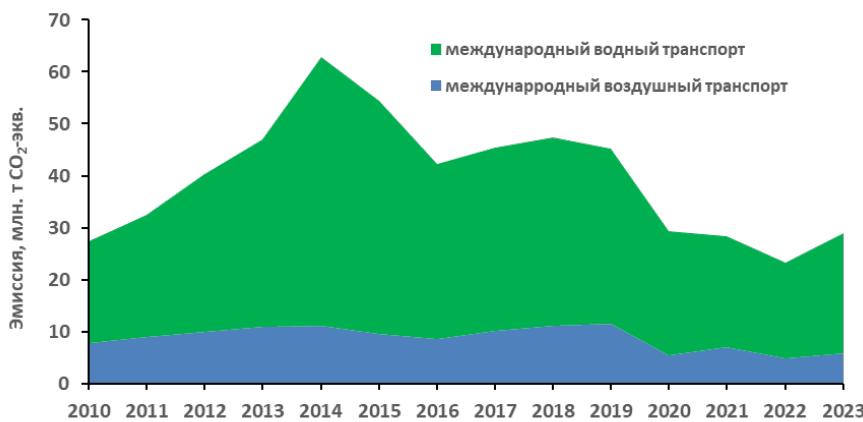


Рисунок 4. Общий эквивалентный выброс парниковых газов при международных авиационных и морских перевозках с территории РФ

Figure 4. Greenhouse gas emissions from international navigation from the territory of the Russian Federation

Драйверы изменения выбросов парниковых газов в транспортном секторе

Динамика выбросов ПГ от внутреннего транспорта и международных перевозок с территории РФ представлены на рис. 5. В период 2010-2023 гг. выбросы от внутреннего транспорта увеличились на 40% (рис. 5). Доля внутреннего транспорта в общем объеме выбросов ПГ от транспортного сектора выросла с 85% в 2010 г. до 88% в 2023 г. При этом, в 2023 г. международные авиационные и морские перевозки составили 3% и 9% общего объема выбросов ПГ от транспортного сектора РФ, соответственно.

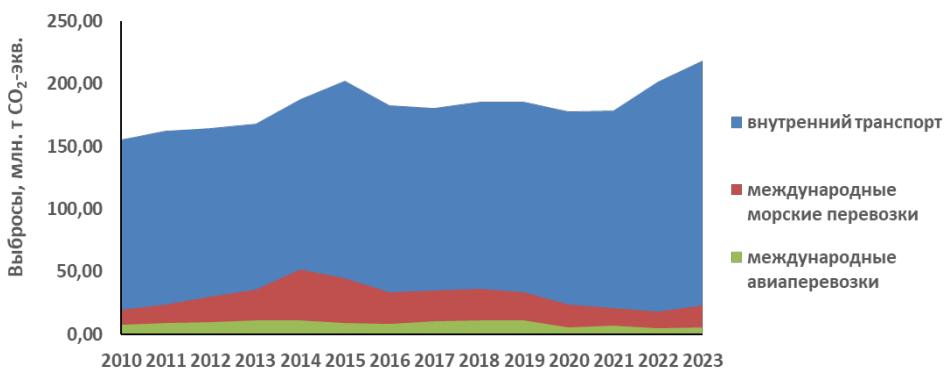


Рисунок 5. Динамика выбросов парниковых газов от внутреннего транспорта и международных перевозок с территории РФ

Figure 5. Greenhouse gas emissions from domestic transport and international transportation from the Russian Federation

За рассматриваемый период динамика выбросов ПГ определялась, в основном, тенденциями развития экономики и торговли. В 2020 и 2021 гг. существенное влияние на величину выбросов оказала пандемия Covid-19. Ограничения на перемещение пассажиров и грузов внутри России, а также на мировом уровне, закрытие границ и изоляция стран, разрыв цепочек поставок и падение спроса на товары оказали негативное влияние на все виды транспортных перевозок. В 2020 г. сокращение выбросов ПГ от внутреннего транспорта вследствие пандемии коронавируса составило 4% от уровня 2019 г., в то время как от международных воздушных и морских перевозок 53% и 29%, соответственно. Однако уже в 2022 г. выбросы от внутреннего транспорта превысили допандемийный 2019 год на 8.6%. В 2022 году российская транспортная отрасль столкнулась с сильнейшим давлением в виде санкций: они были реализованы как в виде прямых логистических ограничений (взаимное закрытие воздушного пространства и морских портов с государствами Евросоюза и США, запрет на движение автомобильного транспорта между Россией и членами ЕС), так и в виде ограничений торговли, которые в свою очередь повлияли и на транспортные потоки (Пердеро, Грушевенко и др., 2022). Наиболее сильно от западных санкций пострадала отрасль международных авиационных и морских перевозок. Так, закрытие воздушного

пространства ЕС и США для пролетов самолетов авиакомпаний РФ в 2022 году повлекло падение выбросов ПГ от авиации на 30%. В свою очередь, ограничения на перевозки через морские порты РФ, запрет российским судам на заход в европейские порты, уход крупнейших международных логистических операторов (Maersk, Hapag-Lloyd, FedEx, CMA и других) способствовали снижению выбросов от международных морских перевозок с территории РФ на 14%. В то же время, необходимо отметить, что несмотря на санкции, выбросы от дорожного и железнодорожного транспорта в 2022-2023 гг. показали рост.

По данным МЭА в 2023 г. глобальные эмиссии диоксида углерода от международного водного и воздушного транспорта достигли 706 и 544.91 млн. т. Таким образом, выбросы от международных морских и авиационных перевозок с территории России составляют 3.2% и 1.1% глобальной эмиссии, соответственно. В целом, мировые выбросы CO₂ от всего транспорта оцениваются в 7.6 Гт. Тогда, доля России в глобальной эмиссии от транспортного сектора составляет около 3%.

Заключение

Россия входит в число крупнейших мировых эмитентов ПГ. Несмотря на то, что вклад России в глобальные выбросы в целом сопоставим с долей её экономики и населения, динамика развития транспорта, рост автопарка и расширение логистических потоков требуют системного подхода к декарбонизации отрасли.

Переход к более экологически чистым видам транспорта, модернизация инфраструктуры, повышение энергоэффективности и стимулирование использования альтернативных видов топлива являются ключевыми направлениями, способными снизить воздействие на климат. Реализация этих мер позволит России не только уменьшить собственные выбросы, но и внести более весомый вклад в глобальные усилия по ограничению изменения климата, сохранив при этом устойчивость транспортной системы и конкурентоспособность экономики в условиях мирового энергетического перехода.

Результаты расчетов свидетельствуют, что в настоящее время транспортная отрасль в России адаптируется к санctionям и постепенно восстанавливается после кризиса. В ближайшие годы можно ожидать рост выбросов ПГ от транспортного сектора в связи с повышением спроса на транспортные услуги и замедлением темпов внедрения электротранспорта и декарбонизации транспортных средств. Кроме того, введение антироссийских санctionий будет способствовать увеличению глобальной эмиссии ПГ за счет изменения международной транспортной логистики, увеличения транспортных издержек и использования менее эффективных транспортных коридоров и маршрутов. Так, например, закрытие воздушного пространства ряда зарубежных стран для российских авиакомпаний и зеркальные меры Москвы в отношении иностранных авиаперевозчиков привели к изменению авиамаршрутов и увеличению времени полетов между Европой и севером Азиатско-Тихоокеан-

ского региона – Японией, Южной Кореей и Китаем, а также на перелетах между США и Индией.

Дальнейшее совершенствование подходов к оценке выбросов ПГ от транспортного сектора будет способствовать получению более точных результатов, которые могут быть использованы для учёта и прогнозирования выбросов ПГ, а также разработки национальных мер, которые бы позволили смягчить негативное влияние транспорта на климат.

Список литературы

Грабар, В.А., Дмитриева, Т.М., Гитарский, М.Л. (2009) К оценке атмосферной эмиссии диоксида углерода от международных авиаперевозок из России, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXII, с. 207-215.

Грабар, В.А., Гитарский, М.Л., Дмитриева, Т.М., Глуховская, Е.П., Хорькова, Н.И., Киричков, С.В. (2011) Оценка эмиссии парниковых газов от гражданской авиации в России, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 30-38.

Грабар, В.А., Гитарский, М.Л., Говор, И.Л., Чернов, В.В. (2015) Эмиссия парниковых газов при международном сообщении водным транспортом, *Экология и промышленность России*, № 11, с. 28-31.

Дмитриева, Т.М., Грабар, В.А. (2017) Авиационные выбросы российской гражданской авиации при выполнении внутренних рейсов в 2000-2012 гг. и интегральная оценка их воздействия на климатическую систему, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 76-84.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год (2021) Москва, Росгидромет, 104 с.

Ершов, М.А., Савеленко, В.Д., Лядов, А.С., Махова, У.А., Капустин, В.М., Гинзбург, В.А., Лытов, В.М., Зеленова, М.С., Сафонов, Е.М. 2024. Сколько углерода в российских бензинах и авиатопливах? *Нефтегазовая вертикаль*, № 3, с. 84-93.

Зеленова, М.С., Лытов, В.М., Гинзбург, В.А., Савеленко, В.Д., Старостин, А.А., Ершов, М.А., Лядов, А.С., Зайнулин, С.М. (2024) Разработка национальных коэффициентов выбросов CO₂ от сжигания жидкого топлива для использования в кадастре парниковых газов Российской Федерации, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXV, № 1-2, с. 30- 61, doi: 10.21513/0207-2564- 2024-1-2-30-61.

Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (2005) Женева, Секретариат РКИК ООН-ЮНОГ, 38 с.

Лытов, В.М., Трофименко, Ю.В., Гинзбург, В.А., Якубович, А.Н., Шелмаков, С.В., Деянов, Д.А., Шашина, Е.В., Зеленова, М.С., Зайнулин, С.М. (2024) Актуализация оценок выбросов парниковых газов от автомобильного

транспорта в национальном кадастре за 2010-2021 гг., *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXV, № 1-2, с. 101-123, doi: 10.21513/0207-2564-2024-1-2-101-123.

Национальный доклад о кадастре (НДК) антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2023 гг. (2025) Москва, ИГКЭ. В 2-х частях.

МГЭИК (2013) Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа. Вклад рабочей группы I в пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, 222 с.

Пердеро, А., Грушевенко, Е., Доброславский, Н., Гайда, И., Ляшик, Ю. (2022) *Декарбонизация магистральной логистики, Школа управления «Сколково»*, Москва, 160 с.

Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата (2005) Женева, Секретариат РКИК ООН-ЮНОГ, 41 с.

Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. N 3052-р.

Трофименко, Ю.В., Гинзбург, В.А., Комков, В.И., Лытов, В.М. (2018) Влияние структуры парка автотранспортных средств по виду топлива и экологическому классу на выбросы парниковых газов, *Вестник СибАДИ*, т. 15, № 6.

Трофименко, Ю.В., Гинзбург, В.А., Якубович, А.Н., Лытов, В.М., Шелмаков, С.В., Зеленова, М.С. (2025) Усовершенствованная методика расчетного мониторинга выбросов парниковых газов от деятельности автомобильного и внедорожного транспорта в Российской Федерации, *Научный вестник МГТУ ГА*. 28(1) с. 78-96, <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96>.

IEA, (2020a) *Tracking Transport 2020*, International Energy Agency, Paris, France International Civil Aviation Organization (2019) ICAO global environmental trends. Present and future aircraft noise and emissions (A40-WP/54).

IPCC (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds.). Japan, IGES.

IPCC (2023) *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

Jaramillo, P, Kahn Ribeiro, S, Newman, P, Dhar S, Diemuodeke, O, Kajino, T, Lee, D, Nugroho, S, Ou, X, Hammer, Strømman, A, Whitehead, J. (2022) *Transport. In Shukla, P, Skea, J, Slade, R, Khoardajie, AA, van Diemen, R, McCollum, D, Pathak, M, Some, S, Vyas, P, Fradera, R, Belkacemi, M, Hasija, A, Lisboa, G, Luz, S, Malley, J, editors. Climate change 2022, mitigation of climate*

change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK and New York, NY, USA Cambridge University Press, pp. 1049-160.

Trofimenko, Y.V., Yakubovich, A.N., Lytov, V.M. (2023) Development of Approaches to Updated Database on the Vehicle Fleet of Various Countries for Assessing Gross Greenhouse Gas Emissions, *Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex* (TIRVED), Moscow, pp. 1-5, doi: 10.1109/TIRVED58506.2023.10332670.

Reference

Grabar, V.A., Dmitrieva, T.M., Gitarskij, M.L. (2009) K ocenke atmosfernoj emissii dioksida ugleroda ot mezhdunarodnyh aviaperevozok iz Rossii [On the estimation of atmospheric emissions of carbon dioxide from international flights operated from Russian territory], *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, vol. XXII, pp. 207-215.

Grabar, V.A., Gitarskij, M.L., Dmitrieva, T.M., Gluhovskaya, E.P., Hor'kova, N.I., Kirichkov, S.V. (2011) Ocenka emissii parnikovyh gazov ot grazhdanskoy aviacii v Rossii [Assessment of greenhouse gas emissions from civil aviation in Russia], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 30-38.

Grabar, V.A., Gitarskij, M.L., Govor, I.L., Chernov, V.V. (2015) Emissiya parnikovyh gazov pri mezhdunarodnom soobshchenii vodnym transportom [Greenhouse gas emissions from international waterborne transport], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, no. 11, pp. 28-31.

Dmitrieva, T.M., Grabar, V.A. (2017) Aviacionnye vybrosy rossijskoj grazhdanskoy aviacii pri vypolnenii vnutrennih rejsov v 2000-2012 gg. i integral'naya ocenka ih vozdejstviya na klimaticeskuyu sistemu [Emissions from Russian domestic civil aviation in 2000-2012 and integrated assessment of their impact on the climate system], *Meteorologiya i hidrologiya*, no. 8, pp. 76-84.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2020 god (2021) [A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2020], Moscow, Russia, 104 p.

Ershov, M.A., Savlenko, V.D., Lyadov, A.S., Mahova, U.A., Kapustin, V.M., Ginzburg, V.A., Lytov, V.M., Zelenova, M.S., Safronov, E.M. (2024) Skol'ko ugleroda v rossijskih benzinah i aviatoplivah? [How much carbon is in Russian gasoline and aviation fuel?], *Neftegazovaya vertikal'*, no. 3, pp. 84-93.

Zelenova, M.S., Lytov, V.M., Ginzburg, V.A., Savlenko, V.D., Starostin, A.A., Ershov, M.A., Lyadov, A.S., Zajnulin, S.M. (2024) Razrabotka nacional'nyh koefficientov vybrosov CO₂ ot szhiganiya zhidkih topliv dlya ispol'zovaniya v

kadastre parnikovyh gazov Rossijskoj Federacii [Development of country specific CO2 emission factors from liquid fuel combustion for the National GHG inventory of the Russian Federation], *Ekologicheskij monitoring i modelirovanie ekosistem*, vol. HXXV, no. 1-2, pp. 30-61, doi: 10.21513/0207-2564- 2024-1-2-30-61.

Kiotskij protokol k Ramochnoj konvencii Organizacii Ob"edinennyh Nacij ob izmenenii klimata (2005) [Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change], Geneve, 38 p.

Lyтов, V.M., Trofimenko, Yu.V., Ginzburg, V.A., Yakubovich, A.N., Shelmakov, S.V., Deyanov, D.A., Shashina, E.V., Zelenova, M.S., Zajnulin, S.M. (2024) Aktualizaciya ocenok vybrosov parnikovyh gazov ot avtomobil'nogo transporta v nacional'nom kadastre za 2010-2021 gg. [Updating of greenhouse gas emission estimates from road transport in the national inventory for 2010-2021], *Ekologicheskij monitoring i modelirovanie ekosistem*, vol. HXHV, no. 1-2, pp. 101-123, doi: 10.21513/0207-2564- 2024-1-2-101-123.

IPCC (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds.), Japan, IGES.

Nacional'nyj doklad o kadastre antropogennych vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov ne reguliruemyh Montreal'skim protokolom za 1990-2023 gg. (2025) IGKE, Moscow, Russia, v 2-h chastyah.

MGEIK (2013) *Izmenenie klimata. Fizicheskaya nauchnaya osnova*. Vklad rabochej gruppy I v pyatyyj ocenochnyj doklad Mezhpravitel'stvennoj gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata. MGEIK, 222 p.

Perdero, A., Grushevenko, E., Dobroslavskij, N., Gajda, I., Lyashik, Yu. (2022) *Dekarbonizaciya magistral'noj logistiki* [Decarbonization of linehaul logistics], Skolkovo, Moscow, Russia, 160 p.

Ramochnaya konvenciya Organizacii Ob"edinennyh Nacij ob izmenenii klimata (2005) [The United Nations Framework Convention on Climate Change], Geneve, 41 p.

Strategiya social'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii s nizkim urovnem vybrosov parnikovyh gazov do 2050 goda (2021) [Strategy of Socio-economic Development of the Russian Federation with a Low Level of Greenhouse Gas Emissions until 2050], Government of the Russian Federation, Russia.

Trofimenko, Yu.V., Ginzburg, V.A., Komkov, V.I., Lytov, V.M. (2018) Vliyanie struktury parka avtotransportnyh sredstv po vidu topliva i ekologicheskому klassu na vybrosy parnikovyh gazov [Influence of the motor vehicle parking structure by fuel type and ecological class on greenhouse gas emissions], *Vestnik SibADI*, vol. 15, no. 6, pp. 898-910.

Trofimenko, Yu.V., Ginzburg, V.A., Yakubovich, A.N., Lytov, V.M., Shelmakov, S.V., Zelenova, M.S. (2025) Usovershenstvovannaya metodika raschetnogo

monitoringa vybrosov parnikovyh gazov ot deyatel'nosti avtomobil'nogo i vnedorozhnogo transporta v Rossijskoj Federacii [Improved methodology for the calculated monitoring of greenhouse gas emissions from the activities of road and off-road transport in the Russian Federation], *Nauchnyi Vestnik MGTU GA*, vol. 28, no. 1, pp. 78-96, <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96>.

IEA (2020) *Tracking Transport 2020*. International Energy Agency, Paris, France. International Civil Aviation Organization (2019) ICAO global environmental trends. Present and future aircraft noise and emissions (A40-WP/54).

IPCC (2006) *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds.). Japan, IGES, 2006

IPCC (2023) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 1- 34 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

Jaramillo, P, Kahn Ribeiro, S, Newman, P, Dhar, S, Diemuodeke, O, Kajino, T, Lee, D, Nugroho, S, Ou, X, Hammer Strømman, A, Whitehead, J. (2022) Transport. In: Shukla, P, Skea, J, Slade, R, Khoardajie, AA, van Diemen, R, McCollum, D, Pathak, M, Some, S, Vyas, P, Fradera, R, Belkacemi M, Hasija, A, Lisboa, G, Luz, S, Malley, J, editors. *Climate change 2022, mitigation of climate change*. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, p. 1049-160.

Trofimenko, Y.V., Yakubovich, A.N., Lytov, V.M. (2023) Development of Approaches to Updated Database on the Vehicle Fleet of Various Countries for Assessing Gross Greenhouse Gas Emissions, *Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex* (TIRVED), Moscow, Russia, pp. 1-5, doi: 10.1109/TIRVED58506.2023.10332670.

Статья поступила в редакцию (Received): 26.08.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 09.12.2025.

Для цитирования / For citation:

Грабар, В.А., Лытов, В.М. (2025) Атмосферные выбросы парниковых газов от транспортного сектора в России за 2010-2023 гг., *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 3-4, с. 84-105, doi:10.24412/2782-3237-2025-3-84-105.

Grabar, V.A.), Lytov, V.M. (2025) The atmospheric greenhouse gas emissions from transport sector in Russia for the years 2010-2023, *Ecological monitoring and modeling of ecosystems*. i.e. XXXVI. no. 3-4, pp. 84-105, doi:10.24412/2782-3237-2025-3-4-84-105.
