

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА / REGIONAL AND SECTORAL ECONOMICS

АДАПТАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА К ПРОЦЕССАМ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ В РОССИИ

Научная статья

Аликберова Т.Т.^{1,*}, Белик И.С.², Стародубец Н.В.³

¹ ORCID : 0000-0001-7382-0980;

² ORCID : 0000-0001-7405-3226;

³ ORCID : 0000-0001-8687-2050;

^{1,2,3} Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (tamila.alikberova[at]mail.ru)

Аннотация

Преобладающая в последние четверть века нестабильность климата, в изменение которого существенный вклад вносит возрастающая эмиссия парниковых газов (в том числе CO₂), вынуждает большинство государств и транснациональных компаний переходить на низкоуглеродный тип развития. К достижению углеродной нейтральности стремится и транспортная отрасль, которая является одним из основных источников выбросов углекислого газа (CO₂). Как правило, для уменьшения углеродного следа используются водородные и низкоуглеродные транспортные технологии, способствующие переходу, в том числе на электромобили.

В настоящем исследовании обобщен международный и отечественный опыт процессов декарбонизации, с целью оценки восприимчивости транспортной отрасли к модели низкоуглеродного развития. Для оценки выбросов парниковых газов от сжигания топлива автомобильным транспортом рассмотрена российская методика расчета выбросов парниковых газов. Предложены два сценария развития автомобильного транспорта в России – инновационный и сценарий декарбонизации, обеспечивающие реализацию целей Парижского соглашения об изменении климата.

По результатам прогнозных оценок, выполненных в исследовании, установлено, что по сценарию декарбонизации к 2055 г. в России возможен полный переход отрасли к модели низкоуглеродного развития (предполагающего замену ДВС и дизельного топлива на электропривод).

Ключевые слова: декарбонизация транспортного сектора, инновационный сценарий, сценарий декарбонизации, низкоуглеродное развитие, климатические вызовы, углеродный след.

ADAPTATION OF THE TRANSPORT SECTOR TO DECARBONIZATION PROCESSES IN RUSSIA

Research article

Alikberova T.T.^{1,*}, Belik I.S.², Starodubets N.V.³

¹ ORCID : 0000-0001-7382-0980;

² ORCID : 0000-0001-7405-3226;

³ ORCID : 0000-0001-8687-2050;

^{1,2,3} Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (tamila.alikberova[at]mail.ru)

Abstract

The prevailing climate instability over the last quarter of a century, to which increasing emissions of greenhouse gases (including CO₂) make a significant contribution, is forcing most countries and multinational companies to shift to low-carbon development. The transport industry, which is one of the main sources of carbon dioxide (CO₂) emissions, is also striving to achieve carbon neutrality. As a rule, hydrogen and low-carbon transport technologies are used to reduce the carbon footprint, facilitating the transition to electric cars, among others.

This study compiles international and domestic experience of decarbonization processes in order to evaluate the transport sector's susceptibility to a low-carbon development model. To assess greenhouse gas emissions from fuel combustion by road transport, the Russian methodology for calculating greenhouse gas emissions is examined. Two scenarios for the development of road transport in Russia – innovation and decarbonization scenarios – are proposed to ensure the implementation of the Paris Agreement on Climate Change.

Based on the results of the forecast estimations carried out in the research, it was found that under the decarbonization scenario, a complete industry transition to a low-carbon development model (involving the replacement of internal combustion engines and diesel fuel with electric drive) is possible in Russia by 2055.

Keywords: decarbonization of the transport sector, innovation scenario, decarbonization scenario, low-carbon development, climate challenges, carbon footprint.

Введение

Концепция низкоуглеродного развития является реакцией на глобальное изменение климата, большой вклад в которое внесли, в том числе, и выбросы парниковых газов. Цель перехода к низкоуглеродному развитию состоит в том, чтобы уменьшить или даже свести к нулю выбросы парниковых газов, и тем самым «затормозить» климатические изменения, вызванные человеком, и снизить наносимый окружающей среде ущерб.

В статье представлены результаты исследования восприимчивости транспортной отрасли к процессам декарбонизации в России, так как она играет ведущую роль в обеспечении баланса между различными секторами экономики и влияет на доступность основных функций современного общества, служа измерителем его социально-экономического состояния.

В автотранспортном секторе запрос на сокращение выбросов углекислого газа также высок и побуждает участников корпоративных отношений к производству электромобилей и замене автомобилей, работающих на углеводородном топливе, а также к использованию водородных и низкоуглеродных транспортных технологий.

Одной из тенденций, которая способствует радикальной трансформации транспортного сектора, является сведение углеродного следа к нулю и достижение углеродной нейтральности. Данная тенденция стала необратимой после того, как Евросоюз принял «Европейский зеленый курс» (European Green Deal) и пакет законодательных инициатив по его реализации («Fit for 55»), а также план реформирования европейской системы торговли выбросами парниковых газов (ETS), включая международные перевозки воздушным и морским транспортом. Для России актуальность исследования заключается в определении возможности радикальной трансформации транспортного сектора в направлении декарбонизации.

Целью исследования является оценка перспектив перехода к низкоуглеродному развитию автотранспортного сектора на основе анализа мирового и отечественного опыта.

Следует отметить, что процесс выхода транспортной отрасли на траекторию декарбонизации невозможен без развития параллельных секторов экономики, инфраструктуры автомобильной промышленности, создания чистого и доступного по цене общественного и личного автотранспорта. Подобные обстоятельства формируют ограничения, которые необходимо учитывать и соотносить с экономическими возможностями трансформации транспортного сектора в России.

Современное состояние проблемы

К концу 2019 года Европейской комиссией была опубликована обширная программа действий – «Европейский зеленый курс». Данная программа предусматривает радикальные изменения в развитии мировой экономики. Долгосрочная цель России в этой программе – достижение нулевых выбросов парниковых газов к 2050 году [19]. Согласно МГЭИК («Доклад 1,5 градуса») [20], это глобальная цель, которой должны придерживаться развитые и развивающиеся страны до 2050 года, чтобы предотвратить повышение средней температуры воздуха больше чем на 1,5 градуса.

По данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) [21], в соответствии с существующими планами развития возобновляемой энергетики в России к 2030 году удастся избежать выбросов в атмосферу 12 млн. тонн парниковых газов, что составляет всего 1% от общего объема выбросов в стране, то есть характеризуется крайне низким значением.

На рисунке 1 представлены данные об объеме выбросов парниковых газов транспортной отраслью России за 2020 год.

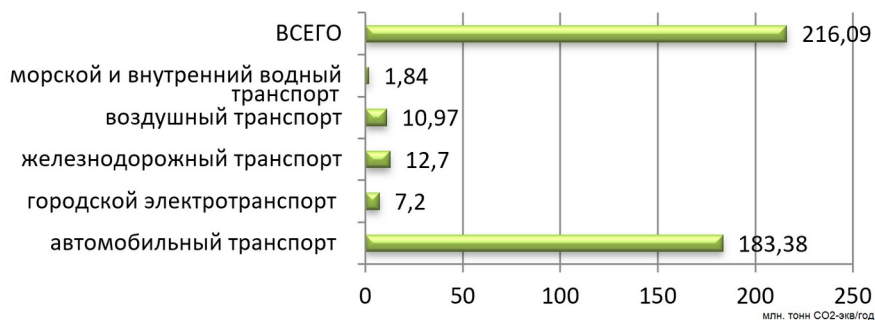


Рисунок 1 - Объемы выбросов парниковых газов транспортной отраслью за 2020 г.

Примечание: составлено по национальному кадастру антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом

Данные, представленные в Национальном докладе [3], раскрывают структуру выбросов парниковых газов (ПГ) по видам транспорта. Как следует из диаграммы (рис.1), основным источником выбросов парниковых газов является автомобильный транспорт (183,38 млн. т. CO₂-экв за 2020 г.). На этом основании можно утверждать, что приоритетным направлением низкоуглеродного развития отрасли является декарбонизация автотранспорта, позволяющая получить наибольшую отдачу от вводимых регулятивных действий.

Доля выбросов ПГ в общем объеме парниковых газов транспортной отраслью представлена на рисунке 2. Данные по структуре выбросов транспортом показывают, что выбросы ПГ от автомобильного транспорта превышают суммарный объем ПГ от всех других видов транспорта, включая трубопроводный и железнодорожный.

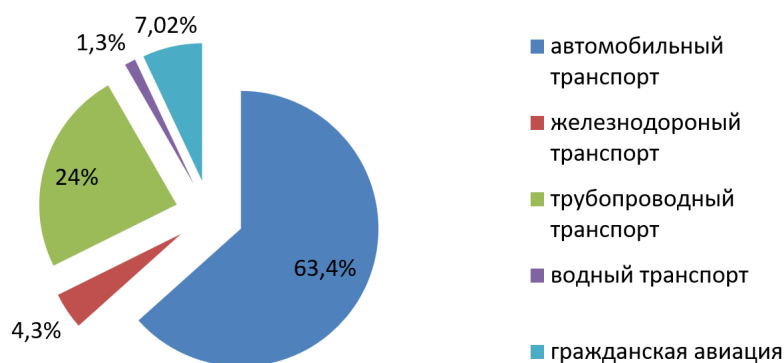


Рисунок 2 - Структура выбросов ПГ в транспортной отрасли РФ за 2020 г.

Примечание: составлено по национальному кадастру антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом

Анализ структуры источников выбросов по отраслям экономики, выполненный для обоснования роли транспорта, показывает, что транспорт занимает второе место после самого крупного эмитента – энергетического сектора. Структура выбросов парниковых газов по отраслям экономики представлена на рисунке 3.

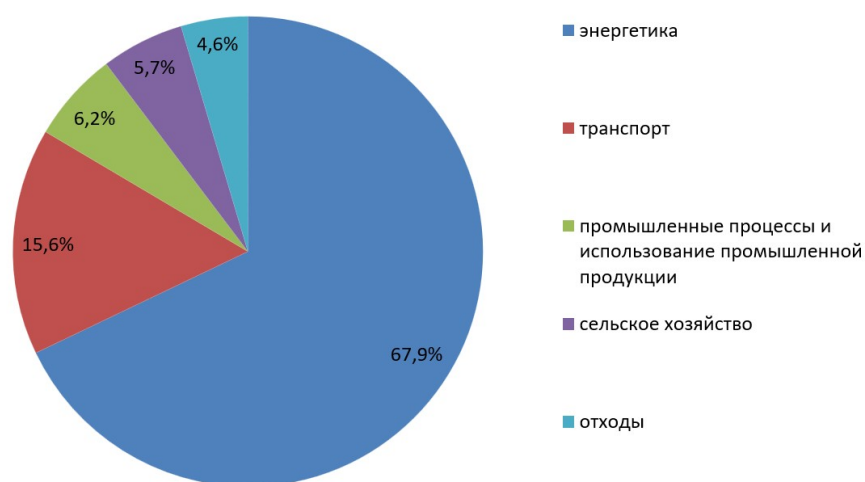


Рисунок 3 - Структура выбросов парниковых газов по секторам в 2020 г.

Примечание: составлено по данным Федеральной службы государственной статистики

Следует отметить, что выбросы парниковых газов от транспорта растут значительно быстрее, чем в других секторах экономики. По этой причине авторы считают, что декарбонизация транспортного сектора является актуальной задачей в достижении целей углеродной нейтральности экономики.

Положительным моментом в развитии процессов декарбонизации экономики в России служит принятие таких документов как «Стратегия долгосрочного развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», «Транспортная стратегия РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» и «Стратегия развития автомобильной промышленности РФ до 2035 года». Подобное движение в этом направлении дает основание полагать, что Россия способна закрепить свое место среди стран, взявших курс на декарбонизацию транспорта.

Международные и национальные стратегии декарбонизации

В Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) [25] от 9 мая 1992 года заложен фундамент международной климатической политики. Основная цель этой политики – достижение стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на уровне, который исключает опасное антропогенное воздействие на атмосферу. Участниками РКИК являются 196 стран + ЕС, Россия утвердила Рамочную конвенцию в декабре 1994 г.

Требования, которые были указаны в РКИК, в дальнейшем были конкретизированы в Киотском протоколе [26], принятом на 3-й Конференции сторон РКИК в г. Киото (Япония) в конце 1997 года. Киотский протокол вступил в силу 16 февраля 2005 года, его участниками были 191 страна, включая ЕС.

Киотский протокол впервые определил количественные обязательства по ограничению и сокращению выбросов парниковых газов для промышленно развитых стран, а также для стран с переходной экономикой. Позже, в декабре 2015 года на 21-й Конференции Сторон РКИК ООН Парижского соглашения было принято решение о переходе к регулированию антропогенных выбросов ПГ для достижения целей устойчивого развития.

Наряду с целью устойчивого развития Парижское соглашение устанавливает также климатическую цель – удержать средний рост температуры в пределах ниже 2 градуса, а в идеале – не выше 1,5 градуса от прежнего уровня. Если придерживаться установленной климатической цели, то во второй половине XXI века возможно достижение равновесия между антропогенными выбросами ПГ и их поглощением, т.е. сведение нетто-выбросов ПГ к нулю [8].

Достижение данных целей возможно путем перехода экономической системы на путь низкоуглеродного развития и активизации финансовых ресурсов в пользу отраслей и технологий, которые отличаются низким уровнем выбросов парниковых газов или способствуют их сокращению.

Более 196 стран предоставили в Секретариат РКИК предварительные оценки своих вкладов в смягчение климатических изменений на период до 2025-2030 гг. Климатические цели развитых и развивающихся стран, включая Россию, приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1 - Климатические цели развитых и развивающихся стран по сокращению ПГ на период до 2025-2030 гг

Страны	Заявленные предварительные цели на период до 2025 (2030) г.
Промышленно развитые страны	
США	Сокращение выбросов ПГ на 26-29% к 2025 году от уровня 2005 г.
Канада	Сокращение выбросов ПГ на 30-32% к 2025 году от уровня 2005 г.
Германия	Сократить выбросы ПГ к 2030 году, не менее чем на 45%, а по возможности – на 55%, от уровня 1990 г.
Франция	Сокращение выбросов ПГ на 40% к 2030 году от уровня 1990 г.
Норвегия	Сокращение выбросов ПГ на 55% к 2025 году от уровня 1990 г.
Россия	При условии максимальной поглощающей способности лесов, сокращение выбросов ПГ на 70-75 % к 2030 году от уровня 1990 г.
Крупнейшие развивающиеся страны	
Бразилия	Сокращение выбросов ПГ на 35-37% к 2030 году от уровня 2005 г.
Мексика	Сокращение выбросов ПГ на 26-36% к 2030 году от базовой линии.
Китай	Сократить удельные выбросы на 1 долл. ВВП на 60-65% относительно 2005 г. к 2025 году, с выходом на пик по абсолютной величине выбросов к 2030 году.

Примечание: составлено авторами на основе доклада ЦСР «Климатическая повестка России: реагируя на международные вызовы»

Как следует из таблицы 1, для России наиболее близки по обязательствам сокращения выбросов Китай и, из стран-членов ЕС, Германия. Эти страны являются важными экономическими партнерами страны, поэтому в исследовании проанализирован инструментарий реализации всеобщих целей по сокращению выбросов парниковых газов.

Китай в конце ноября 2020 года, через систему INDC [12], представил стратегию развития транспортного сектора под общим названием «План развития индустрии новых энергетических транспортных средств на период 2021-2035 гг.». Реализация данной стратегии предполагает отказ от производства автомобилей с ДВС к 2035 году.

В России к тому времени был принят национальный проект «Экология» и входящие в его состав федеральные проекты «Чистый воздух», «Наилучшие доступные технологии», «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года», предусматривающие сокращение ПГ. Проекты были призваны стимулировать бизнес к внедрению зеленых технологий с минимальным ущербом для окружающей среды и развитию нормативного регулирования: квотирование выбросов [1], [2], [9], [23].

Наряду с федеральными проектами в России в ноябре 2021 года утверждена Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (распоряжение Правительства РФ № 3363-р от 27 ноября 2021 г.) [2], где в качестве одной из 4-х основных долгосрочных целей развития транспортного сектора является «цифровая и низкоуглеродная трансформация отрасли и ускоренное внедрение новых технологий».

В соответствии с имеющимися прогнозами социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов ожидается снижение выбросов парниковых газов от транспортного сектора на 1,2% относительно общего объема выбросов в 2017 году, в перспективе до 2050 года – на 4,2% относительно уровня 2030 года путем электрификации транспорта, развития зарядной инфраструктуры, масштабного изменения структуры грузо- и пассажирооборота в пользу менее углеродоемких видов транспорта [2].

Методы оценки и мониторинга выбросов парниковых газов транспортным сектором в РФ

Переход транспортного сектора на траекторию низкоуглеродного развития, реализуемый в промышленно развитых и во многих развивающихся странах, связан с необходимостью перехода к регулированию выбросов парниковых газов для достижения целей устойчивого развития.

В данной работе проводится оценка прямых и косвенных выбросов парниковых газов автотранспортных средств.

Методология оценки выбросов парниковых газов от транспорта, принятая в разных странах, примерно одинакова. В ее основу заложен методологический подход, разработанный экспертами МГЭИК [20], который предусматривает как наличие страновых особенностей, так и возможность уточнения методик с учетом национальной специфики.

В работе методологическую базу оценивания выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ как транспортным комплексом в целом, так и наземным городским электротранспортом, составляет российская официальная методика количественного определения объемов выбросов парниковых газов, принятая 27-го мая 2022 года [27], построенная в соответствии с подходом методологии МГЭИК.

Согласно данной методике, расчет выбросов CO₂ от сжигания топлива проводится на основе учета видов топлива и типов двигателя. Сначала оценивается потребление каждого вида топлива по типам транспорта (легковой, грузовой, автобусы), затем – общие выбросы CO₂ путем умножения количества потребленного топлива на фактор выбросы для каждого типа топлива и типа транспорта. Таким образом, расчет выбросов CO₂ от сжигания топлива автомобильным транспортом проводился по формуле [27]:

$$E = M \times K_1 \times TH_3 \times K_2 \times 44/12 \quad (1)$$

где E – годовой выброс CO₂ в весовых единицах (тонн/год);

M – фактическое потребление вида топлива за год (тонн/год);

K₁ – коэффициент окисления углерода в топливе (показывает долю сгоревшего углерода);

TH₃ – теплотворное нетто-значение (Дж/тонн);

K₂ – коэффициент выбросов углерода (тонн C/Дж);

44/12 – коэффициент пересчета выбросов углерода в двуокись углерода.

При оценивании косвенных выбросов от сжигания ископаемого топлива необходимого, чтобы произвести электроэнергию для электротранспорта, использовался выше описанный подход, с учетом удельного расхода электроэнергии и коэффициента эмиссий энергосистемы России. Расчет косвенных выбросов проводился по формуле:

$$E = W_{уд} \times K_{эм} \times L_{ср} \quad (2)$$

где E – годовые косвенные выбросы в весовых единицах (тонн/год);

W_{уд} – удельное потребление электроэнергии (кВт*ч/км);

K_{эм} – коэффициент эмиссий энергосистемы России (кг/МВт*ч);

L_{ср} – среднегодовой пробег (км).

Отличительная особенность методики состоит в том, что для оценивания выбросов парниковых газов автомобильным транспортом составляются сценарные прогнозы численности транспортных средств в автопарке, с учетом типа энергоустановок, вида топлива, годового пробега автомобильного транспортного средства и удельных выбросов парниковых газов на единицу пробега.

В исследовании рассмотрены два сценария развития транспортного сектора: инновационный и декарбонизации. Оба сценария направлены на реализацию целевых показателей Парижского соглашения по климату, в котором установлено, что превышение температуры воздуха не должно превышать 1,5 °C до 2050 года.

Инновационный сценарий предусматривает усиление нормативных требований к экологичности и энергоэффективности транспортного комплекса, что предполагает изменение структуры автотранспортных средств, т.е. переход с традиционных автобусов на электробусы.

Сценарий декарбонизации предусматривает выполнение климатических целей Парижского соглашения, т.е. переход транспортного сектора РФ на низкоуглеродное развитие, когда 100% численности автотранспортных средств будут составлять электромобили.

Источником статистических данных при расчете выбросов парниковых газов автотранспортными средствами являются сборник Росстата «Транспорт в России» [29], научно-исследовательские отчеты НИИ «Сколково» [30], статистические данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [24] и статистические данные аналитического агентства АВТОСТАТ [14].

Для определения прогнозного количества автотранспортных средств были проанализированы статистические данные о структуре автопарка с 2000 по 2022 гг., приведенные в ежегодных статистических сборниках Росстата [24]. Как изменялась структура автопарка в России за период 2000-2022 гг. представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Структура автопарка России за период 2000-2022 гг

Наименование	2000	2005	2010	2015	2020	2021	2022
Легковые ТС, тыс. шт	20 353	25 570	34 354	44 253	49 259	50 304	50 609
Грузовые ТС, тыс. шт	4 401	4 848	5 414	6 230	6 564	6 664	6 673
Автобусы, тыс. шт	109	79	158	174	159	144	138
ИТОГО, тыс. шт	24 863	30 497	39 926	50 657	55 982	57 112	57 420

Примечание: составлено авторами по данным Федеральной службы государственной статистики

Анализ данных о структуре автопарка показал, что в среднем ежегодно число легковых транспортных средств увеличивается на 4,3%, грузовых – 1,9%, автобусов – 3,7%. С учетом данных о структуре автопарка и среднегодовом приросте числа транспортных средств были получены необходимые прогнозные значения о количестве автотранспортных средств (грузовых, легковых, автобусов). Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Прогнозная численность структуры автопарка России за период 2020-2050 гг

Наименование	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Легковые ТС, тыс. шт	49 259	57 422	70 876	87 483	107 980	133 281	164 509
Грузовые ТС, тыс. шт	6 564	7 061	7 757	8 523	9 364	10 288	11 303
Автобусы, тыс. шт	159	154	185	221	265	318	382
ИТОГО, тыс. шт	55 982	64 637	78 818	96 227	117 610	143 887	176 193

Примечание: составлено авторами по данным таблицы 2

Прогнозная оценка автопарка по типу энергоустановок и виду используемого топлива приводится в научно-исследовательском отчете НИИ «Сколково» [30] (таблица 4). Достоверность прогнозов в большей степени зависит от изменяемых параметров таких, как цена на энергоносители, условия реализации мер по энергосбережению, разнообразие стратегий декарбонизации транспортного сектора.

Таблица 4 - Прогнозная оценка структуры автопарка России по типу энергоустановок и виду используемого топлива до 2050 года (фрагмент), инновационный сценарий/сценарий декарбонизации

Типы ЭУ	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Легковые транспортные средства							
Бензиновые	0,92	0,85	0,76	0,6/0,57	0,52/0,38	0,44/0,19	0,35/0,02
Дизельные	0,05	0,09	0,15	0,25/0,13	0,3/0,07	0,33/0,03	0,36/0,0
Газомо	0,02	0,04	0,06	0,09/0,04	0,12/0,03	0,15/0,01	0,02/0,0

тор ные (КП Г, СП Г)								
Эле ктр опр иво д	0,01	0,02	0,03	0,06/0,14	0,06/0,39	0,08/0,76	0,09 /0,9 8	
ИТ ОГ О	1	1	1	1	1	1	1	
Грузовые транспортные средства								
Бен зин овы е	0,34	0,28	0,22	0,2/0,17	0,17/0,12	0,2/0,06	0,17 /0,0	
Диз ель ные	0,58	0,64	0,65	0,62/0,48	0,56/0,33	0,52/0,16	0,46 /0,0 5	
Газ омо тор ные (КП Г, СП Г)	0,08	0,07	0,09	0,13/0,07	0,18/0,05	0,2/0,02	0,17 /0,0	
Эле ктр опр иво д	0,00	0,001	0,007	0,013/0,017	0,033/0,23	0,047/0,25	0,06 1/0, 34	
ИТОГО	1	1	1	1	1	1	1	
Автобусы								
Бензинов ые	0,38	0,27	0,25	0,18	0,13	0,07	0,02	
Дизельны е	0,49	0,45	0,42	0,38	0,25	0,13	0,05	
Газомотор ные (КПГ, СПГ)	0,14	0,10	0,09	0,08	0,06	0,02	0,00	
Электропр ивод	0,01	0,18	0,22	0,36	0,56	0,74	0,93	
ИТОГО	1	1	1	1	1	1	1	

Примечание: составлено авторами по данным научно-исследовательского отчета НИИ «Сколково»

Учитывая прогнозные значения общей численности транспортных средств (таблица 3), и прогнозные оценки структуры автопарка России по типу энергоустановок и виду используемого топлива (таблица 4), был произведен расчет общего количества транспортных средств (легковых, грузовых, автобусов) для рассматриваемых сценариев (инновационный, декарбонизации). Прогнозные значения количества автотранспортных средств по типу энергоустановок и виду используемого топлива для инновационного сценария представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Прогнозная оценка общего количества транспортных средств по типу энергоустановок и виду используемого топлива до 2050 года

Тип ЭУ	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
--------	------	------	------	------	------	------	------

Легковые ТС (инновационный сценарий), тыс. шт							
Бензиновые	45 318	48 809	53 866	52 490	56 150	58 643	57 578
Дизельные	2 463	5 168	10 631	21 871	32 394	43 983	59 223
Газомоторные	985	2 297	4 253	7 873	12 958	19 992	32 902
Электропривод	493	1 148	2 126	5 249	6 479	10 662	14 806
Грузовые ТС (инновационный сценарий), тыс. шт							
Бензиновые	2 232	1 977	1 707	1 705	1 592	1 543	1 356
Дизельные	3 807	4 519	5 042	5 284	5 244	5 350	5 199
Газомоторные	525	494	698	1 108	1 686	2 058	1 922
Электропривод	0	7	54	111	309	484	689
Автобусы (инновационный сценарий), тыс. шт							
Бензиновые	60	42	46	40	35	22	8
Дизельные	78	69	78	84	66	41	19
Газомоторные	22	15	17	18	16	6	0
Электропривод	2	28	41	80	149	236	355

Примечание: составлено авторами по данным таблиц 3 и 4

Прогнозные значения количества автотранспортных средств по типу энергоустановок и виду используемого топлива для сценария декарбонизации приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Прогнозные оценки общего количества транспортных средств по типу энергоустановок и виду используемого топлива до 2050 года

Тип ЭУ	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Легковые ТС (сценарий декарбонизации), тыс. шт							
Бензиновые	45 318	48 809	53 866	49 865	41 033	25 323	3 290
Дизельные	2 463	5 168	10 631	11 373	7 559	3 998	0
Газомоторные	985	2 297	4 253	3 499	3 239	1 333	0
Электропривод	493	1 148	2 126	12 248	42 112	101 293	161 218
Грузовые ТС (сценарий декарбонизации), тыс. шт							
Бензиновые	2 232	1 977	1 707	1 449	1 124	617	113
Дизельные	3 807	4 519	5 042	4 091	3 090	1 646	565
Газомоторные	525	494	698	597	468	206	0
Электропривод	0	7	54	145	2 154	2 572	3 843
Автобусы (сценарий декарбонизации), тыс. шт							
Бензинов	60	42	46	40	35	22	8

ые							
Дизельные	78	69	78	84	66	41	19
Газомоторные	22	15	17	18	16	6	0
Электропривод	2	28	41	80	149	236	355

Примечание: составлено авторами по данным таблиц 3 и 4

Анализ данных, представленных в таблицах 5 и 6, показывает, что электрификация автомобильного парка в России ожидается только с 2030 года. Такая тенденция относится ко всем видам транспортных средств. Полученные прогнозные значения электрификации автопарка подтверждают исследования Минэкономразвития РФ [28] в области низкоуглеродного развития экономики в аспекте декарбонизации транспортного сектора.

Для расчета выбросов автотранспортными средствами по вышеописанной формуле, необходимы данные о фактическом потреблении топлива, остальные показатели – известны (таблица 7).

Таблица 7 - Коэффициенты для перерасчета сожженного топлива в выбросы CO₂ для автотранспорта

Виды топлива	Теплотворное нетто-значение, ТНЗ ТДж/тыс. тонн	Коэффициент выбросов углерода, К ₂ , тС/ТДж	Фракция окисленного углерода, К ₁	Коэффициент эмиссий энергосистемы России, К _{эм} , кг/МВт*ч
Бензин	44,21	19,13	0,995	-
Дизельное топливо	43,02	19,98	0,995	-
Природный газ	34,78	15,04	0,995	-
Электроэнергия	-	-	-	0,329

Примечание: составлено авторами по данным СПО-Э-150

В силу ограниченности данных о фактическом потреблении топлива каждым видом транспортного средства, для расчета данного показателя (М) использовались значения о среднегодовых пробегах разных типов транспортных средств (легковых, грузовых, автобусов) и о среднем потреблении топлива конкретным автотранспортным средством. В таблице 8 представлены данные о средних нормах расхода топлива транспортными средствами по типу энергоустановок и виду используемого топлива.

Таблица 8 - Средние нормы расхода топлива в зависимости от типа автотранспортных средств

Наименование	Бензин, л/100 км	Дизельное топливо, дизтоплива/100 км	Природный газ, л/100 км	Электроэнергия, кВт*ч/100 км
Легковые ТС	12	8	10	15
Грузовые ТС	33	30	30	25
Автобусы	42	45	55	91

Примечание: составлено авторами по данным Минтранс России

В таблице 9 представлены данные о среднегодовых пробегах разных видов транспортных средств (легковых, грузовых, автобусов) за 2020 год в России.

Таблица 9 - Среднегодовой пробег разных видов транспортных средств за 2020 год

Наименование	2020, тыс. км
Легковые ТС	16
Грузовые ТС	53

Автобусы	78
Электромобиль	7,2
Грузовой электротранспорт	32
Электробусы	65

Примечание: составлено авторами по данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», интернет-портала «Дром» и справочных данных о среднегодовых пробегах

Для вычисления прогнозных значений показателя фактического потребления топлива (М), было принято допущение, что средний расход топлива и среднегодовой пробег транспортных средств (легковых, грузовых и автобусов) остается неизменным за весь прогнозный период (2020-2050 гг.).

Полученные расчетные данные потребления топлива с учетом принятых допущений для инновационного сценария приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Потребление топлива автотранспортными средствами

Вид топлива	Легковые ТС						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Бензин, млн. тонн/год	87,011	93,713	103,423	100,780	107,808	112,595	110,550
Дизель, млн. тонн/год	3,153	6,615	13,608	27,995	41,465	56,298	75,806
Газ, млн. тонн/год	1,576	3,675	6,804	12,598	20,732	31,987	52,643
Э/Э, млн. тонн/год	1,182	2,756	5,103	12,598	15,549	25,590	35,534
	Грузовые ТС						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Бензин, млн. тонн/год	39,033	34,577	29,849	29,813	27,842	26,990	23,723
Дизель, млн. тонн/год	60,533	71,849	80,172	84,018	83,376	85,060	82,671
Газ, млн. тонн/год	8,349	7,858	11,101	17,617	26,799	32,716	30,552
Э/Э, млн. тонн/год	0,000	0,094	0,719	1,468	4,094	6,407	9,136
	Автобусы						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Бензин, млн. тонн/год	1,979	1,361	1,511	1,305	1,130	0,730	0,250
Дизель, млн. тонн/год	2,735	2,431	2,721	2,952	2,329	1,452	0,670
Газ, млн. тонн/год	0,955	0,660	0,713	0,760	0,683	0,273	0,000
Э/э, млн. тонн/год	0,011	0,197	0,288	0,566	1,055	1,672	2,519

Примечание: инновационный сценарий; *составлено авторами по данным таблиц 5, 8 и 9

Расчетные данные потребления топлива с учетом принятых допущений для сценария декарбонизации представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Потребление топлива автотранспортными средствами

Вид топлива	Легковые ТС						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Бензин, млн. тонн/год	87,011	93,713	103,423	95,741	78,783	48,621	6,317
Дизель, млн. тонн/год	3,153	6,615	13,608	14,557	9,675	5,118	0,000
Газ, млн. тонн/год	1,576	3,675	6,804	5,599	5,183	2,132	0,000
Э/Э, млн. тонн/год	1,182	2,756	5,103	29,394	101,070	243,104	386,924
Грузовые ТС							
Год	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Бензин, млн. тонн/год	39,033	34,577	29,849	25,341	19,653	10,796	1,977
Дизель, млн. тонн/год	60,533	71,849	80,172	65,046	49,132	26,172	8,986
Газ, млн. тонн/год	8,349	7,858	11,101	9,486	7,444	3,272	0,000
Э/Э, млн. тонн/год	0,000	0,094	0,719	1,920	28,536	34,079	50,921
Автобусы							
Год	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Бензин, млн. тонн/год	1,979	1,361	1,511	1,305	1,130	0,730	0,250
Дизель, млн. тонн/год	2,735	2,431	2,721	2,952	2,329	1,452	0,670
Газ, млн. тонн/год	0,955	0,660	0,713	0,760	0,683	0,273	0,000
Э/э, млн. тонн/год	0,113	1,966	2,882	5,655	10,549	16,717	25,194

Примечание: сценарий декарбонизации; составлено авторами по данным таблиц 6, 8 и 9

На основании данных о потреблении топлива автотранспортными средствами при реализации инновационного сценария и сценария декарбонизации (см. табл. 10,11) и применением коэффициентов перерасчета сожженного топлива в выбросы CO₂ (см. табл. 7), с использованием формул (1,2), авторами были получены результаты прогнозных оценок прямых и косвенных выбросов парниковых газов.

В таблице 12 представлены результаты прогнозных оценок прямых выбросов парниковых газов (без учета электротранспорта) и косвенных выбросов (с учетом электротранспорта).

Таблица 12 - Прогнозные значения прямых и косвенных выбросов парниковых газов автопарком РФ

Выбросы	Сценарий	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Прямые выбросы ПГ,	Инновационный	62,41	67,71	75,41	82,66	91,28	100,48	107,29

млн. тонн CO ₂ -экв	Декарбонизации	62,41	67,71	75,41	66,67	52,43	29,91	5,67
	Иновационный	0,001	0,005	0,009	0,02	0,04	0,06	0,09
Косвенные выбросы ПГ, млн. тонн CO ₂ -экв	Декарбонизации	0,002	0,04	0,06	0,12	0,32	0,51	0,76

Примечание: инновационный сценарий и декарбонизации; составлено авторами на основе данных таблиц 7, 10 и 11

Как показывают расчеты (таблица 12), наименее благоприятным сценарием, с точки зрения сокращения выбросов парниковых газов от автопарка РФ является инновационный сценарий, что обусловлено сохранением большого количества легковых автотранспортных средств с традиционным ДВС.

Для сценария декарбонизации характерно постепенное снижение прямых выбросов парниковых газов за счет увеличения доли электротранспорта и сокращения общего количества автотранспортных средств с традиционным ДВС.

Анализ полученных значений показывает, что до 2030 года масса прямых выбросов парниковых газов будет превышать уровень 2020 года на 20,82%, т.е. 13 млн. тонн CO₂-экв. Однако масса косвенных видов парниковых газов будет минимальной до 2030 года для инновационного сценария (0,009 млн. тонн CO₂-экв) и для сценария декарбонизации (0,06 млн. тонн CO₂-экв), поскольку доля автотранспорта с электроприводом в РФ невелика.

На рисунке 4 представлены результаты прогнозных значений суммарных валовых выбросов парниковых газов автомобильными транспортными средствами Российской Федерации на период до 2050 года по рассматриваемым сценариям.

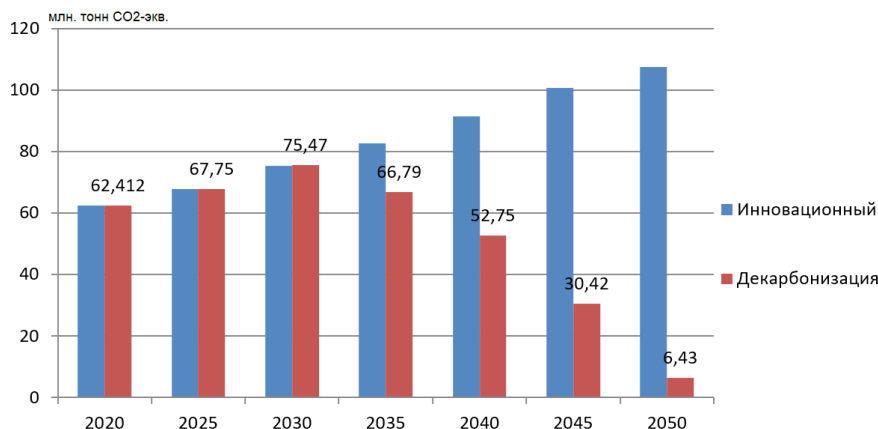


Рисунок 4 - Суммарные выбросы парниковых газов (прямых и косвенных) автопарком РФ до 2050 года по двум сценариям

Примечание: выполнено авторами на основе данных табл. 12

На основе проведенного анализа можно утверждать, что суммарные выбросы парниковых газов до 2030 года будут расти при реализации обоих сценариев (инновационный и декарбонизации) развития транспортного сектора РФ. При этом реализация инновационного сценария приводит к увеличению выбросов на 70-71% к 2050 году по сравнению с 2020 годом, а при исполнении сценария декарбонизации – к сокращению почти на 90-91%.

Основные результаты

В статье рассмотрены два сценария (инновационный и декарбонизации), предполагающие процессы электромобилизации автомобильного транспорта, как основного способа достижения декарбонизации и обеспечения устойчивого развития транспортной отрасли. Оба сценария предусматривают снижение негативного воздействия на окружающую среду транспортным сектором.

По выполненным прогнозным оценкам, сценарий декарбонизации позволяет обеспечить сокращение выбросов парниковых газов (в том числе CO₂) за счет более интенсивного замещения традиционных видов топлива безуглеродными.

Прогнозные оценочные расчеты предусматривают, что интенсивная электрификация транспортной отрасли начнется в начале 2030-х годов, при положительной динамике поставок электромобилей на рынок России. Это касается всех автомобильных транспортных средств – легковых и грузовых автомобилей и автобусов.

При реализации инновационного сценария количество транспортных средств с традиционными ДВС (автобусы) сократится к 2050 году по сравнению с 2020-м годом. Существенного сокращения объема выбросов парниковых газов при исполнении данного сценария не предполагается, так как потребление топлива автотранспортными средствами будет увеличиваться, что связано с ростом общего количества доли легковых транспортных средств с традиционными ДВС.

Реализация сценария декарбонизации предполагает существенное сокращение потребления топлива, соответственно, и снижение выбросов, что обусловлено переходом всех видов транспортных средств (легковых, грузовых и автобусов) на экологичное топливо.

По результатам оценочных расчетов выявлено, что по сценарию декарбонизации к 2050-2055 гг. в России могут быть достигнуты цели, заложенные в Стратегию социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года.

Заключение

После обобщения и анализа зарубежного и отечественного опыта перехода транспортного сектора на низкоуглеродную модель развития, мероприятия, связанные со снижением выбросов ПГ, можно объединить в следующие группы:

1) повышение энергоэффективности транспортных технологий и транспортных средств, использующих традиционные виды топлива (бензин, дизель, природный газ);

2) использование разнообразных источников энергии с наименьшим уровнем выбросов парниковых газов для автотранспортных средств;

3) сокращение нерационального и необоснованного перемещения грузов и пассажиров, использование расширенных возможностей коммуникации между людьми, транспортными средствами и дорожной инфраструктурой.

Оценочные значения эффективности внедрения данных мероприятий по снижению выбросов парниковых газов представлены в таблице 13.

Таблица 13 - Оценочные значения эффективности внедрения мероприятий по снижению парниковых газов автотранспортным сектором

Группа мероприятий	2020	2030	2040	2050
Повышение энергоэффективности транспортных технологий и транспортных средств, использующих традиционные виды топлива (бензин, дизель, природный газ), %	96	83	42	5
Использование разнообразных источников энергии с наименьшим уровнем выбросов парниковых газов для автотранспортных средств, %	2	12	48	75
Сокращение нерационального и необоснованного перемещения грузов и пассажиров, использование	2	5	10	20

расширенных возможностей коммуникации между людьми, транспортными средствами и дорожной инфраструктурой, %				
ВСЕГО	100	100	100	100

Примечание: составлено авторами по итогам распределения экспертных оценок, приведенных в исследовании Greenpeace

Переход транспортного сектора на использование альтернативных видов топлива обусловлен объективными причинами, к которым можно отнести: ограниченность мировых нефтяных запасов, ужесточение экологических требований, выполнение целей Парижского соглашения в области политики декарбонизации транспортного сектора.

Переход транспортного сектора России на электротранспорт может оказать в перспективе влияние, как на интегральные показатели работы транспорта, так и на характеристики его воздействия на окружающую среду.

Финансирование

Исследование выполнено за счет совместного гранта Российского научного фонда и Правительства Свердловской области № 22-28-20453 «Комплексный подход к процессам декарбонизации экономики: формирование региональной политики».

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Леокумович Н.В., Институт энергетических исследований РАН, Москва, Российская Федерация

Funding

The study supported by a joint grant of the Russian Science Foundation and the Government of the Sverdlovsk Region No. 22-28-20453 "The Integrated Approach to the Processes of Decarbonization of the Economy: the Formation of Regional Policy".

Conflict of Interest

None declared.

Review

Leokumovich N.V., Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS), Moscow, Russian Federation

Список литературы / References

1. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. — №3052-р. — URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtIpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения: 12.12.2022).
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 27 ноября 2021 г. — №3363-р. — URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 01.12.2022).
3. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом // Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. — 2020. — URL: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> (дата обращения: 12.12.2022).
4. Гладильщикова А.А. Межправительственная группа экспертов по изменению климата: завершение цикла Шестой оценки и планы на будущее / А.А. Гладильщикова, Т.М. Дмитриева // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2022. — Т. 8. — №4. — С. 407–412.
5. Potashnikov V. Decarbonizing Russia: Leapfrogging from Fossil Fuel to Hydrogen / V. Potashnikov [et al.] // Energies. — 2022. — Vol. 15. — № 3. — P. 683. — DOI: 10.3390/en15030683.
6. Khasieva M.A. The Solutions of the Problems of Energy and Transport Decarbonization in Russia / M.A. Khasieva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2022. — Vol. 1045. — № 1. — P. 012155. — DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012155.
7. Moshkov V. Prerequisites and Trends in Electric Vehicles Development / V. Moshkov, V. Ovchinnikov // Civil SecurityTechnology. — 2021. — Vol. 18. — № 2(68). — P. 14-19.
8. Trofimenko Y. Problems and Prospects of Sustainable Low Carbon Development of Transport in Russia / Y. Trofimenko, V. Komkov, V. Donchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 3. International Conference on Sustainable Cities. — 2018. — P. 012014.
9. Методические указания и руководство по количественному определению объемов выбросов парниковых газов различными видами транспорта: проект. — Минтранс России, 2018. — 63 с.
10. Zhang R. Cross-Cutting Scenarios and Strategies for Designing Decarbonization Pathways in the Transport Sector toward Carbon Neutrality / R. Zhang, T. Hanaoka // Nature Communications. — 2022. — Vol. 13. — № 1. — P. 29–36. — DOI: 10.1038/s41467-022-31354-9.

11. Ачкасов Д.Ю. Тенденции декарбонизации транспорта в мировой экономике и Российской Федерации / Д.Ю. Ачкасов, А.В. Воробьева // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». — 2021. — Т. 3. — № 13. — С. 37–41.
12. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). — 2023. — URL: <https://www.ipcc.ch> (accessed: 12.01.2023).
13. Российское отделение Greenpeace – отделение международной некоммерческой организации в России. — URL: <https://greenpeace.ru> (дата обращения: 15.01.2023).
14. Аналитическое агентство АВТОСТАТ. — URL: <https://www.autostat.ru> (дата обращения: 13.01.2023).
15. World Resources Institute (INDC). — URL: <https://www.wri.org/indc-definition> (accessed: 01.05.2023).
16. Московская административная дорожная инспекция (МАДИ). — URL: <https://www.mos.ru/dt/function/o-departamente/moskovskaya-administrativnaya-dorozhnaya-inspekciya/> (дата обращения: 13.01.2023).
17. Climate Action Tracker Russian Federation. — 2023. — URL: <https://climateactiontracker.org/countries/russian-federation/> (accessed: 28.01.2023).
18. ГБУ СО «Оператор электронного правительства». — 2023. — URL: https://egov66.ru/information_systems/rmis/stat_ts.html (дата обращения: 08.02.2023)
19. European Green Deal. — 2023. — URL: <https://wecoop.eu/ru/glossary/green-deal/> (accessed: 10.03.2023).
20. Специальный доклад МГЭИК о последствиях глобального потепления на 1,5 °C / Межправительственная группа экспертов по изменению климата. — 2019. — С. 110.
21. Ассоциация развития возобновляемой энергетики (АРВЭ). — URL: https://rreda.ru/statistics_of_renewable_energy_in_russia (дата обращения: 03.03.2023).
22. Институт проблем естественных монополий (ИПЕМ). — URL: <https://ipem.ru/content/filter/type-is-research/apply/> (дата обращения: 10.03.2023).
23. The International Renewable Energy Agency (IRENA). — URL: <https://www.irena.org> (accessed: 12.03.2023).
24. Федеральная служба государственной статистики. — URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 12.03.2023).
25. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. — URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения: 15.04.2023).
26. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. — URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (дата обращения: 15.04.2023).
27. Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27 мая 2022 г. — № 371.
28. Министерство экономического развития Российской Федерации. — URL: <https://www.economy.gov.ru> (дата обращения: 20.04.2023).
29. Акимова И.Е. Транспорт в России. 2022 / И.Е. Акимова, К.А. Алексеев, Н.А. Бобкова [и др.] // Статистический сборник. — 2022. — 101 с.
30. Научно-исследовательский отчет НИИ «Сколково». — URL: <https://cloud.mail.ru/home/Сколково%202.pdf> (дата обращения: 20.04.2023).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategiya social'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii s nizkim urovnem vybrosov parnikovyh gazov do 2050 goda [Strategy of Socio-Economic Development of the Russian Federation with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050]: Decree of the Government of the Russian Federation dated October 29, 2021. — №3052-p. — URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf> (accessed: 12.12.2022). [in Russian]
2. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda [Transport Strategy of the Russian Federation for the Period up to 2030]: Decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021. — №3363-p. — URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (accessed: 01.12.2022). [in Russian]
3. Nacional'nyj kadastr antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom [National inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not regulated by the Montreal Protocol] // Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika YU.A. Izraelya [Institute of Global Climate and Ecology named after Academician Yu.A. Israel]. — 2020. — URL: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> (accessed:12.12.2022). [in Russian]
4. Gladilchikova A.A. Mezhravitel'stvennaya gruppa ekspertov po izmeneniyu klimata: zavershenie cikla SHestoj ocenki i plany na budushchee [Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change: Completion of the Sixth Assessment Cycle and Plans for the Future] / A.A. Gladilchikova, T.M. Dmitrieva // Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]. — 2022. — Vol. 8. — № 4. — P. 407-412. [in Russian]
5. Potashnikov V. Decarbonizing Russia: Leapfrogging from Fossil Fuel to Hydrogen / V. Potashnikov [et al.] // Energies. — 2022. — Vol. 15. — № 3. — P. 683. — DOI: 10.3390/en15030683.
6. Khasieva M.A. The Solutions of the Problems of Energy and Transport Decarbonization in Russia / M.A. Khasieva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2022. — Vol. 1045. — № 1. — P. 012155. — DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012155.
7. Moshkov V. Prerequisites and Trends in Electric Vehicles Development / V. Moshkov, V. Ovchinnikov // Civil SecurityTechnology. — 2021. — Vol. 18. — № 2(68). — P. 14-19.
8. Trofimenko Y. Problems and Prospects of Sustainable Low Carbon Development of Transport in Russia / Y. Trofimenko, V. Komkov, V. Donchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 3. International Conference on Sustainable Cities. — 2018. — P. 012014.

9. Metodicheskie ukazaniya i rukovodstvo po kolichestvennomu opredeleniyu ob'yomov vybrosov parnikovyh gazov razlichnymi vidami transporta [Methodological guidelines and guidelines for the quantitative determination of greenhouse gas emissions by various modes of transport]: project. — Ministry of Transport of Russia, 2018. — 63 p. [in Russian]
10. Zhang R. Cross-Cutting Scenarios and Strategies for Designing Decarbonization Pathways in the Transport Sector toward Carbon Neutrality / R. Zhang, T. Hanaoka // Nature Communications. — 2022. — Vol. 13. — № 1. — P. 29–36. — DOI: 10.1038/s41467-022-31354-9.
11. Achkasov D.Yu. Tendencii dekarbonizacii transporta v mirovoj ekonomike i Rossijskoj federacii [Trends in Decarbonization of Transport in the World Economy and the Russian Federation] / D.Yu. Achkasov, A.V. Vorobyeva // Vestnik studencheskogo nauchnogo obshchestva GOU VPO «Doneckij nacional'nyj universitet» [Bulletin of the Student Scientific Society of the Donetsk National University]. — 2021. — Vol. 3. — № 13. — P. 37-41. [in Russian]
12. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). — 2023. — URL: <https://www.ipcc.ch> (accessed: 12.01.2023).
13. Rossijskoe otdelenie Greenpeace – otdelenie mezhdunarodnoj nekommercheskoj organizacii v Rossii [The Russian branch of Greenpeace is a branch of an international non-profit organization in Russia]. — URL: <https://greenpeace.ru> (accessed: 15.01.2023). [in Russian]
14. Analiticheskoe agentstvo AVTOSTAT [Analytical agency AUTOSTAT]. — URL: <https://www.autostat.ru> (accessed: 13.01.2023). [in Russian]
15. World Resources Institute (INDC). — URL: <https://www.wri.org/indc-definition> (accessed: 01.05.2023).
16. Moskovskaya administrativnaya dorozhnaya inspekciya (MADI) [Moscow Administrative Road Inspection (MADI)]. — URL: <https://www.mos.ru/dt/function/o-departamente/moskovskaya-administrativnaya-dorozhnaya-inspekciya/> (accessed: 13.01.2023). [in Russian]
17. Climate Action Tracker Russian Federation. — 2023. — URL: <https://climateactiontracker.org/countries/russian-federation/> (accessed: 28.01.2023).
18. GBU SO «Operator elektronnoho pravitel'stva» [GBU SO "Operator of electronic government"]. — 2023. — URL: https://egov66.ru/information_systems/rmis/stat_ts.html (accessed: 08.02.2023) [in Russian]
19. European Green Deal. — 2023. — URL: <https://wecoop.eu/ru/glossary/green-deal/> (accessed: 10.03.2023).
20. Special'nyj doklad MGEIK o posledstviyah global'nogo potepleniya na 1,5 OS [Special report of the IPCC on the consequences of global warming by 1.5 OC] / Mezhpriavitel'stvennaya gruppa ekspertov po izmeneniyu klimata [Intergovernmental Panel on Climate Change]. — 2019. — P. 110. [in Russian]
21. Associaciya razvitiya vozobnovlyaemoj energetiki (ARVE) [Renewable Energy Development Association (ARVE)]. — URL: https://treda.ru/statistics_of_renewable_energy_in_russia (accessed: 03.03.2023). [in Russian]
22. Institut problem estestvennyh monopolij (IPEM) [Institute for Natural Monopoly Problems (IPEM)]. — URL: <https://ipem.ru/content/filter/type-is-research/apply/> (accessed: 10.03.2023). [in Russian]
23. The International Renewable Energy Agency (IRENA). — URL: <https://www.irena.org> (accessed: 12.03.2023).
24. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal State Statistics Service]. — URL: <https://rosstat.gov.ru> (accessed: 12.03.2023). [in Russian]
25. Ramochnaya konvenciya Organizacii Ob"edinennyh Nacij ob izmenenii klimata [United Nations Framework Convention on Climate Change]. — URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (accessed: 15.04.2023). [in Russian]
26. Kiotskij protokol k Ramochnoj konvencii Organizacii Ob"edinennyh Nacij ob izmenenii klimata [Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change]. — URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (accessed: 15.04.2023). [in Russian]
27. Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob'emov vybrosov parnikovyh gazov i pogloshchenij parnikovyh gazov [On Approval of Methods for Quantifying Greenhouse Gas Emissions and Removals of Greenhouse Gases]: Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated May 27, 2022. — № 371. [in Russian]
28. Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii [Ministry of Economic Development of the Russian Federation]. — URL: <https://www.economy.gov.ru> (accessed: 20.04.2023). [in Russian]
29. Akimova I.E. Transport v Rossii. 2022 [Transport in Russia. 2022] / I.E. Akimova, K.A. Alekseev, N.A. Bobkova [et al.] // Statisticheskij sbornik [Statistical collection]. — 2022. — 101 p. [in Russian]
30. Nauchno-issledovatel'skij otchet NII «Skolkovo» [Research report of the Skolkovo Research Institute]. — URL: <https://cloud.mail.ru/home/Skolkovo%202.pdf> (accessed: 20.04.2023). [in Russian]