

УДК 519.86

DOI 10.22213/2618-9763-2026-2-40-53

С. А. Кархова, кандидат экономических наук, доцент*Л. Б. Михайлова*, студент*Е. Р. Муравьева*, студент

Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА CO₂ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА ИЗ НЕФТИ И ГАЗА ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИМИ И ОТРАСЛЕВЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

В статье рассматривается проблема достижения целей Российской Федерации по снижению выбросов парниковых газов. В качестве объекта исследуются объемы выбросов диоксида углерода, образуемых при сжигании топлива из нефти и газа в России.

Разработана эконометрическая модель в виде иерархической системы взаимосвязанных уравнений множественной линейной регрессии. Отмечается, что созданная модель позволяет оценить взаимосвязь ключевого показателя «доля выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа в общем объеме выбросов парниковых газов в Российской Федерации» с показателями энергетики и макроэкономики. В модели выбросы CO₂ при сжигании нефти и газа в РФ показаны в корреляции с объемом добычи нефти и газа, с объемом потребления первичной энергии и его структурой по видам источников энергии. Совокупные выбросы парниковых газов рассмотрены в зависимости от фактора производства электроэнергии по видам генерации, и от фактора доходов федерального бюджета и структуры бюджета.

Выполнено прогнозирование значений ключевого показателя до 2030 года на основе разработанной модели. Выявлена общая повышательная тенденция изменения ключевого показателя с прогнозом увеличения доли выбросов при сжигании топлива из нефти и газа. Сделан вывод о наличии колоссальных трудностей по достижению целей Климатической доктрины Российской Федерации. Использование математической модели для прогнозирования позволило доказать, что стремление к снижению объемов выбросов эмиссии парниковых газов в инерционном сценарии развития негативно влияет на макроэкономику России. Отмечается, что для преодоления этого требуется структурная перестройка экономики с уменьшением доли нефтегазового сектора, смена технологической парадигмы развития промышленности, изменение источников доходов федерального бюджета.

Ключевые слова: эмиссия парниковых газов; макроэкономические и отраслевые показатели; нефтегазовые доходы бюджета; энергопотребление; множественная линейная регрессия; прогнозирование

Введение

Сокращение эмиссии парниковых газов является важнейшей задачей международной и национальной климатической политики России.

Для достижения целей устойчивого развития, утвержденных «Повесткой ООН в области устойчивого развития на период до 2030 года», каждое государство приняло обязательства по ответственному отношению к окружающей среде. В связи с этим в 2021 г. были приняты «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» и Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. [1, с. 226–227].

«Климатическая доктрина Российской Федерации» (далее – Доктрина), утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2023 г. № 812, декларирует требова-

ние еще более низкого уровня выбросов парниковых газов при решении задач социально-экономического развития стран. Согласно Доктрине, цель по декарбонизации экономики заключается в достижении выбросов парниковых газов на уровне 1673 млн т CO₂-эквивалента к 2030 г., с достижением к 2060 г. баланса между выбросами и поглощением.

Для сравнения: официальная статистика Росстата в 2023 г. фиксирует объем выбросов парниковых газов 2082,9 млн т CO₂-эквивалента¹.

Основным источником выбросов парниковых газов являются продукты энергетики, включая продукты нефтегазового комплекса. В мировом масштабе $\frac{3}{4}$ выбросов парниковых газов приходится на топливно-энергетический сектор экономики. В частности, сам нефтегазовый сектор с его технологическими процессами непосредственно отвечает только за 12 % миро-

© Кархова С. А., Михайлова Л. Б., Муравьева Е. Р., 2026

¹ Окружающая среда. Изменение климата. Совокупные выбросы парниковых газов // Росстат: офиц. статистика. URL: <https://www.rosstat.gov.ru/folder/11194?print=1> (дата обращения: 20.01.2026 г.).

вых выбросов¹. Более значимы для экологии и экономики выбросы, образуемые при сжигании ископаемого топлива. Данные выбросы относятся к третьей сфере охвата *Scope 3* в соответствии с методологией *GHG Protocol*.

В мировой структуре выбросов, образуемых при сжигании топлива (независимо от отраслей, где оно используется), присутствует следующее распределение (по данным Международного энергетического агентства (IEA), 2023 г.): уголь – 44,6 %, нефть – 32,9 %, природный газ – 21,8 %, прочие – 0,7 %².

Следовательно, на долю сжигания нефти и газа приходится 54,7 % мировых выбросов диоксида углерода CO₂ при сжигании топлива. Отраслевая структура выбросов CO₂ при сжигании различается в странах мира и зависит от отраслевой структуры экономики и структуры топливно-энергетического комплекса. По расчетам IEA, основная часть выбросов CO₂ образуется при производстве электроэнергии и тепла (44,2 %) и в транспортном секторе (23,9 %).

Традиционно социальный и экономический рост в государстве связан с расширением сфер материального производства и потребления, что напрямую обуславливает негативный эффект в виде увеличения выбросов парниковых газов. Обычно считается, что динамика валового внутреннего продукта (ВВП) и численности населения обуславливает выбросы CO₂. Исследования, результаты которых представлены в статье Е. Г. Ефимовой, А. А. Мальцева и Д. А. Чупиной, доказывают, что климатическая политика различается в странах мира, при этом национальные особенности коррелируют с отраслевой структурой экономики и социально-экономическими показателями. Так, в России выбросы CO₂ имеют существенную прямую связь с объемом ВВП, размером ВВП на душу населения, валовым накоплением капитала [2, с. 64].

Трудность реализации климатической повестки России заключается, прежде всего, в том, что задача снижения выбросов вступает в противоречие с задачей экономического развития и сохранения конкурентоспособной экономики страны [3, с. 31]. В странах с развивающейся экономикой доказано наличие положительной связи между ростом ВВП и увеличением объемов эмиссии парниковых газов. Причиной является

активная индустриализация и рост энергопотребления, включающего прежде всего потребление угля, нефти и газа. Каждый дополнительный 1 % прироста потребления угля, нефти и природного газа приводит к повышению выбросов CO₂ на 0,26 % [4].

В сценариях экономического развития России достижение целей по сокращению выбросов парниковых газов планируется за счет повсеместного внедрения технологий энергосбережения и развития безуглеродной и низкоуглеродной энергетики. Предполагается смена технологического уклада с переходом от энергии, получаемой преимущественно из ископаемого углеводородного сырья, на технологии, использующие энергию солнца, ветра, воды, и также атомную и водородную энергию³.

Реализация климатической повестки в России неизбежно вызовет структурные изменения экономики, в первую очередь, приведет к сокращению доли традиционных секторов, включая нефтегазовый комплекс. Публичные нефтяные компании подвергаются наиболее сильному давлению со стороны экологически активной части общества и со стороны инвесторов. Руководитель ПАО «Роснефть» И. И. Сечин указывает на проблемы развития низкоуглеродных технологий в энергетике: огромные потребности в инвестициях в разработку, низкая эффективность, острый дефицит необходимых материалов. Недостаток инвестиций в традиционную энергетику сегодня ведет к нарушениям стабильного обеспечения потребностей мировой экономики в процессе энергоперехода [5].

Цель проводимого исследования заключается в том, чтобы установить количественные взаимосвязи объемов выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа с производственными показателями нефтегазового комплекса, смежных секторов топливно-энергетического комплекса, а также с основными макроэкономическими показателями России. Полученные функциональные зависимости должны позволять прогнозировать изменение выбросов CO₂ в экономике посредством воздействия на существенные факторы.

Задачи исследования сформулированы следующим образом:

1) осуществить сбор данных, характеризующих экономику РФ, топливно-энергетический

¹ Декарбонизация нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России / Грушевенко, С. Капитонов, Ю. Мельников [и др.]. Москва : Сколково, 2021. 158 с. С. 21. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Decarbonization_of_oil_and_gas_RU_22032021.pdf (дата обращения: 09.01.2026).

² Выбросы (Мир) // Международное энергетическое агентство (IEA). URL: <https://www.iea.org/world/emissions> (дата обращения: 09.01.2026 г.).

³ Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-п. URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf>

комплекс и его структуру, эмиссию парниковых газов;

2) выявить наличие функциональных связей между показателями и отобрать факторы с наиболее существенным влиянием на показатели выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа. Параллельно определить сам ключевой показатель, наилучшим образом характеризующий связь выбросов CO₂, с определенным макроэкономическим показателем;

3) разработать математическую модель для ключевого показателя, позволяющую учитывать влияние набора существенных факторов;

4) на основе полученной модели прогнозировать изменения значений показателей выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа и макроэкономических показателей.

Источником статистических данных в проводимом исследовании стали: данные Росстата, содержащие макроэкономические показатели и данные о промышленном развитии топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России; статистические ежегодники международной независимой исследовательской компании *Enerdata*; статистика Международного энергетического агентства (IEA); статистика Управления энергетической информации ЕИА (в составе Министерства энергетики США); данные независимой международной профессиональной организации *Energy Institute* (EI, Великобритания); материалы Электроэнергетического Совета СНГ; статистические и аналитические данные других российских и зарубежных организаций и органов власти.

Методология исследования

Для моделирования использован подход, основанный на построении иерархической системы взаимосвязанных уравнений множественной линейной регрессии. Этот метод позволяет деконструировать сложный показатель на компоненты [6, с. 14].

Исходный ключевой показатель был определен как отношение двух промежуточных показателей, основываясь на их логических взаимосвязях (1):

$$Y = f(A, B, \dots). \quad (1)$$

Для каждой промежуточной переменной A, B была построена своя множественная линейная регрессионная модель, которая имеет классический вид¹:

$$\begin{aligned} A &= \alpha_0 + \alpha_1 X_1^A + \alpha_2 X_2^A + \dots + \alpha_i X_i^A + \varepsilon_i, \\ B &= \beta_0 + \beta_1 X_1^B + \beta_2 X_2^B + \dots + \beta_i X_i^B + \varepsilon_i, \end{aligned} \quad (2)$$

где X_i^A, X_i^B – регрессоры; α_i, β_i – параметры моделей; ε_i – случайные ошибки, $i = 1, 2, \dots, n$.

Далее, для каждого регрессора X_i^j , который сам не является первичным наблюдаемым показателем, была применена рекурсивная процедура: строилась аналогичная регрессионная модель, где данный регрессор выступал в роли зависимой переменной от нового набора объясняющих переменных. Таким образом, была построена иерархическая (многоуровневая) система регрессионных уравнений, т. е. переменные одних уравнений объясняются переменными других уравнений, создавая собственную функциональную зависимость. Объединение в исходное уравнение происходит по базовому свойству транзитивности, что является допущением модели [7, с. 17–19]. Для каждого показателя используется корреляционно-регрессионный анализ, в процессе которого проводится избавление от мультиколлинеарности путем отбора наиболее существенных объясняющих переменных в регрессионных моделях.

Анализ главных компонент является методом редукции данных, т. е. методом сокращения числа переменных, при использовании которого в процессе последовательного выделения факторов они включают в себя все меньше и меньше изменчивости. Решение о том, когда следует остановить процедуру выделения факторов, главным образом зависит от точки зрения на то, что считать малой «случайной» изменчивостью. Это решение достаточно произвольно, однако имеются некоторые рекомендации, позволяющие рационально выбрать число факторов. Стоит воспользоваться критерием Кайзера, суть которого в том, что сначала можно отобрать только факторы с собственными значениями, большими 1 (единицы). По существу, это означает, что если фактор не выделяет дисперсию, эквивалентную, по крайней мере, дисперсии одной переменной, то он опускается².

Завершающим этапом проводится проверка адекватности модели: достаточно сравнить реальные значения переменных в последующие моменты времени с соответствующими их значениями, полученными на основе рассматриваемой модели по данным предшествующих моментов. Дополнительно вычисляется ошибка аппроксимации модели.

¹ Кремер Н. Ш., Путко Б. А. Эконометрика : учеб. для вузов / под ред. Н. Ш. Кремера. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2010. С. 82. ISBN 978-5-238-01720-4

² Электронный учебник по статистике // StatSoft, Inc. 1999. URL: <https://dit.isuct.ru/IVT/BOOKS/IS/is7/Modules/stfacan.html#index> (дата обращения: 23.11.2025).

Разработка эконометрической модели ключевого показателя

Предварительные исследования были направлены на изучение видов, методов расчета, структуры и динамики показателей, характеризующих выбросы CO₂, в особенности той их составляющей, формирование которой связано с функционированием нефтегазового комплекса страны. Одновременно с этим проводился корреляционный анализ, устанавливающий силу и характер зависимости показателей выбросов CO₂ от многообразных показателей, характеризующих макроэкономику и топливно-энергетический комплекс.

В результате предварительного исследования определен ключевой показатель: доля выбросов CO₂, образуемых при сжигании топлива из нефти и газа, в общем объеме выбросов парниковых газов в Российской Федерации.

Сложность на предварительном этапе была обусловлена отличительными особенностями методологий статистического учета показателей выбросов парниковых газов, фиксируемых официальной российской статистикой и международными организациями, а также проведенное государством совершенствование российской методики количественного определения объемов

выбросов с последовавшей в 2025 г. корректировкой отчетных данных прошлых лет.

Из числа взаимосвязанных макроэкономических показателей, влияющих на ключевой показатель, устойчивую корреляцию показали величина нефтегазовых доходов федерального бюджета и структура доходов федерального бюджета, включая нефтегазовые и ненефтегазовые виды доходов.

Таким образом, уточненная цель исследования – разработка многофакторной модели для прогнозирования доли выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа в совокупном объеме выбросов парниковых газов в РФ, включающей в числе факторов доходы федерального бюджета и его составляющие.

Ключевой показатель – доля выбросов – это зависимая переменная Y , которая может быть выражена через отношение объемов выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа (X^A) к совокупным выбросам CO₂ в Российской Федерации (X^B). Получим уравнение вида:

$$Y = \frac{X^A}{X^B}. \quad (3)$$

Рассчитанные значения ключевого показателя представлены в табл. 1.

Таблица 1. Формирование ключевого показателя

Table 1. Key Indicator generation

Год	Совокупные выбросы парниковых газов в РФ, млн т CO ₂ -эквивалента в год	Выбросы CO ₂ при сжигании топлива из нефти в РФ, тыс. т CO ₂	Выбросы CO ₂ при сжигании топлива из природного газа в РФ, тыс. т CO ₂	Выбросы CO ₂ при сжигании топлива из нефти и газа в РФ, тыс. т CO ₂	Доля выбросов CO ₂ при сжигании топлива из нефти и газа в общем объеме выбросов парниковых газов в РФ, %
2010	2 011,9	297 530	802 769	1 100 299	54,690
2011	2 069,0	328 781	826 590	1 155 371	55,842
2012	2 093,9	327 864	819 586	1 147 450	54,800
2013	2 033,8	315 118	813 748	1 128 866	55,505
2014	2 029,1	335 998	806 834	1 142 832	56,322
2015	2 024,0	328 127	765 439	1 093 566	54,030
2016	2 023,4	308 817	773 475	1 082 292	53,489
2017	2 070,2	321 732	795 700	1 117 432	53,977
2018	2 132,7	302 246	828 724	1 130 970	53,030
2019	2 122,8	312 063	805 453	1 117 516	52,643
2020	2 051,4	294 173	765 597	1 059 770	51,661
2021	2 098,1	320 085	861 240	1 181 325	56,305
2022	2 042,0	337 210	813 163	1 150 373	56,336
2023	2 082,9	336 811	833 964	1 170 775	56,209

Источник: составлена авторами на основе данных¹.

¹ Окружающая среда // Росстат. URL: <https://web.archive.org/web/20220926055146/https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 19.04.2026) ; Основные показатели охраны окружающей среды. Стат. бюлл. // Росстат. URL: https://www.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2025.pdf (дата обращения: 19.04.2026) ; Окружающая среда. Изменение климата // Росстат. URL: <https://www.rosstat.gov.ru/folder/11194?print=1> (дата обращения: 19.04.2026) ; Total CO₂ emissions from energy // International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/countries/russia/emissions>

Далее, используя выборку показателей, представляющих собой временные ряды за период с 2010 по 2023 г., был проведен корреляционный анализ с целью выявления показателей с наибольшей связью по каждой переменной X^A и X^B .

При помощи корреляционного анализа исследован набор показателей, влияние которых на показатель X^A логически правдоподобно. Среди показателей: численность городского населения страны (чел.), налоговая ставка по акцизам на основные виды нефтепродуктов (руб/т), потребление нефти, газа, автомобильного бензина и других нефтепродуктов (т), экспорт нефти (т), темпы роста потребительских цен автомобильного бензина (%), коэффициент отношения экспорта угля к экспорту нефти (коэф.), темп роста объема погрузки угля на железнодорожном транспорте (%) и др. В результате для последующего анализа и построения модели были отобраны следующие показатели:

x_1^A – объем добычи нефти и природного газа, млн т у.т.;

x_2^A – энергопотребление, ЭДж.

На основе указанных переменных была специфицирована множественная линейная регрессионная модель для зависимой переменной X^A . Модель имеет следующий вид:

$$X^A = 702,2115 - 0,1390 \cdot x_1^A + 19,6799 \cdot x_2^A. \quad (4)$$

Аналогично для переменной X^B был проведен корреляционный анализ, в ходе которого проверялось наличие связи с показателями макроэкономики и отраслей энергетики России: ВВП страны (руб., долл.), ВВП на душу населения (руб/чел.), доходы федерального бюджета, с разбивкой на нефтегазовые и ненефтегазовые доходы (руб.), производство и потребление электроэнергии (кВт-ч), производство и потребление нефти, газа, угля, нефтепродуктов в разрезе (т, м³) и др. После избавления от мультиколлинеарности определены показатели с объяснимыми наиболее сильными корреляционными связями:

x_1^B – общее производство электроэнергии РФ, млрд кВт-ч;

x_2^B – нефтегазовые доходы бюджета РФ, млрд руб.

На основе указанных переменных была специфицирована множественная линейная регрессионная модель для зависимой переменной X^B , представленная уравнением

$$X^B = 1748,8465 + 0,2620 \cdot x_1^B + 0,0046 \cdot x_2^B. \quad (5)$$

Далее каждый регрессор x_i^j представляем в качестве отдельной модели, таким образом, переходим на следующий уровень иерархической системы взаимосвязанных уравнений множественной линейной регрессии.

Сосредоточимся на группе переменных X^A и детализируем его компоненты x_1^A и x_2^A .

Регрессор x_1^A , интерпретируемый как объем добычи нефти и газа (млн т у.т.), может быть декомпозирован на составляющие по видам добываемого сырья, т. е. представлен в виде аддитивной модели:

$$x_1^A = \alpha_{11}^A + \alpha_{12}^A, \quad (6)$$

где α_{11}^A – объем добычи нефти (включая газовый конденсат), млн т у.т.; α_{12}^A – объем добычи горючего природного (естественного) газа, млн т у.т.

Регрессор x_2^A выражает энергопотребление, точнее – потребление первичной энергии страны (ЭДж), и разделяется по видам источников первичной энергии: уголь, газ, нефть и нефтесодержащие продукты, атомная энергетика, возобновляемые источники энергии. Вклад в выбросы парниковых газов источников атомной энергетика и возобновляемых источников практически минимальный, в отличие от традиционных ископаемых энергоресурсов. Поэтому была составлена функциональная зависимость, демонстрирующая лучшее качество при итоговом моделировании ключевого показателя:

$$x_2^A = \frac{\alpha_{21}^A}{(1 - \alpha_{22}^A)}, \quad (7)$$

где α_{21}^A – объем потребления первичной энергии из угля, нефти, газа, ЭДж; α_{22}^A – доля потребления первичной энергии из источников атомной энергетика и возобновляемых ресурсов в общем объеме потребления первичной энергии, %.

Значения показателей, отобранных в качестве компонентов для формирования числителя ключевого показателя – моделируемый показатель X^A , представлены в табл. 2.

Далее перейдем к следующей группе переменных X^B , формирующих знаменатель ключевого показателя. Для этого декомпозлируем компоненты x_1^B и x_2^B на составляющие.

Таблица 2. Данные компонентов, включаемые в моделируемый показатель X^A Table 2. Component data included in the simulated indicator X^A

Год	Объем добычи нефти (включая газовый конденсат), млн т у.т.	Объем добычи газа (горючий природный (естественный)), млн т у.т.	Энергопотребление из первичных источников, ЭДж	Объем потребления первичной энергии из угля, нефти, газа, ЭДж	Доля потребления первичной энергии из источников атомной энергетики и возобновляемых ресурсов в общем объеме потребления первичной энергии, коэф.
2010	722,6	751,6	30,654	28,313	0,0764
2011	732,7	774,1	31,939	29,582	0,0738
2012	741,8	755,5	31,965	29,530	0,0762
2013	746,0	770,4	31,503	29,067	0,0774
2014	752,4	741,8	31,798	29,273	0,0794
2015	763,2	731,1	31,521	28,893	0,0834
2016	783,3	739,5	31,413	28,726	0,0856
2017	781,1	798,1	31,771	29,015	0,0867
2018	794,4	837,8	32,841	30,160	0,0816
2019	802,3	853,3	33,175	30,366	0,0847
2020	733,7	801,4	31,693	28,586	0,0980
2021	748,1	880,9	35,009	31,848	0,0903
2022	763,6	780,4	34,839	31,629	0,0921
2023	757,9	736,3	34,531	31,398	0,0907

Источники: составлено авторами на основе данных.¹

Компонент x_1^B характеризует общее производство электроэнергии в стране и измеряется в миллиардах киловатт-часов, млрд кВт-ч. В статистике он формируется как сумма выработки электроэнергии по типам электростанций, т. е. его можно представить в виде аддитивной модели:

$$x_1^B = \beta_{11}^B + \beta_{12}^B + \beta_{13}^B + \beta_{14}^B, \quad (8)$$

где β_{11}^B – производство электроэнергии тепловыми электростанциями (ТЭС), млрд кВт-ч; β_{12}^B – производство электроэнергии гидроэлектростанциями (ГЭС), млрд кВт-ч; β_{13}^B – производство электроэнергии атомными электростанциями (АЭС), млрд кВт-ч; β_{14}^B – производство

электроэнергии возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), млрд кВт-ч.

Следующий регрессор x_2^B выражает величину нефтегазовых доходов федерального бюджета, млрд руб. Его можно выразить через разницу между общими доходами бюджета и размером нефтегазовых доходов, таким образом можно составить аддитивную модель:

$$x_2^B = \beta_{21}^B - \beta_{22}^B, \quad (9)$$

где β_{21}^B – доходы бюджета РФ, млрд руб.; β_{22}^B – нефтегазовые доходы бюджета РФ, млрд руб.

Тогда для формирования знаменателя ключевого показателя – моделируемого показателя X^B – будут применены значения его компонентов из табл. 3.

Таблица 3. Данные компонентов, включаемые в моделируемый показатель X^B Table 3. Component data included in the simulated indicator X^B

Год	Производство электроэнергии ТЭС, млрд кВт-ч	Производство электроэнергии ГЭС, млрд кВт-ч	Производство электроэнергии АЭС, млрд кВт-ч	Производство электроэнергии ВИЭ, млрд кВт-ч	Доходы бюджета РФ, млрд руб.	Нефтегазовые доходы бюджета РФ, млрд руб.	Нефтегазовые доходы бюджета РФ, млрд руб.
2010	687,1	168,1	170,1	–	8305,4	3830,7	4474,7
2011	702,9	165,0	172,7	–	11 367,7	5641,8	5725,9
2012	712,2	164,6	177,3	–	12 855,5	6453,2	6402,4
2013	690,1	182,7	172,2	–	13 019,9	6543,0	6485,9
2014	691,2	175,3	180,8	0,2	14 496,9	7433,8	7063,1
2015	684,0	169,9	195,5	0,5	13 659,2	5862,7	7796,6
2016	688,0	186,6	196,6	0,6	13 460,0	4844,0	8616,0

¹ Баланс энергоресурсов // Росстат. URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/5RIE0jgu/en_balans.htm (дата обращения: 19.04.2026) ; Потребление первичной энергии, по видам источников. Россия // Statbase : каталог статистики и мировых данных. URL: <https://statbase.ru/data/rus-primary-energy-consumption-by-source/> (дата обращения: 19.04.2026).

Окончание табл. 3

Год	Производство электроэнергии ТЭС, млрд кВт-ч	Производство электроэнергии ГЭС, млрд кВт-ч	Производство электроэнергии АЭС, млрд кВт-ч	Производство электроэнергии ВИЭ, млрд кВт-ч	Доходы бюджета РФ, млрд руб.	Нефтегазовые доходы бюджета РФ, млрд руб.	Ненефтегазовые доходы бюджета РФ, млрд руб.
2017	682,4	187,4	203,1	0,7	15 088,9	5971,9	9117,0
2018	692,4	193,7	204,6	1,0	19 454,4	9017,8	10 436,6
2019	688,8	197,1	209,0	1,6	20 188,8	7924,3	12 264,5
2020	630,0	214,4	216,0	3,4	18 719,1	5235,2	13 483,8
2021	686,6	216,3	222,5	5,9	25 286,4	9056,5	16 229,9
2022	707,5	199,4	223,7	8,1	27 824,4	11 586,2	16 238,2
2023	722,3	202,6	217,7	9,0	29 124,0	8822,3	20 301,8

Источники: составлена авторами на основе данных¹.

Таким образом, зависимая переменная Y , выражающая долю выбросов CO_2 при сжигании топлива из нефти и газа в общем объеме выбросов парниковых газов в России (проенты), может быть выражена через систему иерархически связанных линейных регрессионных уравнений, описывающих как агрегированные показатели, так и их де-

тализованные составляющие, что обеспечивает возможность многоуровневого эконометрического анализа показателя и возможность получения прогнозных оценок. Полученная иерархическая взаимосвязь показателей модели показана на рис. 1.



Источник: выполнен авторами.

Рис. 1. Иерархия показателей, включенных в модель

Fig. 1. Hierarchy of indicators included in the model

Полученная модель Y на втором уровне декомпозиции имеет вид:

$$Y = \frac{702,2115 - 0,1390 \cdot x_1^A + 19,6799 \cdot x_2^A}{1748,8465 + 0,2620 \cdot x_1^B + 0,0046 \cdot x_2^B} \cdot 100. \quad (10)$$

Модель Y на третьем уровне декомпозиции с необходимыми преобразованиями приобретает вид:

¹ Электроэнергетика Содружества Независимых Государств. Ежегодный сборник [2014–2024]. URL: [http://energo-cis.ru/wyswyg/file/Gertzen/СБОРНИК%202014-2024%20ИТОГ%20\(корр\).pdf](http://energo-cis.ru/wyswyg/file/Gertzen/СБОРНИК%202014-2024%20ИТОГ%20(корр).pdf) (дата обращения: 20.04.2026) ; Электроэнергетика Содружества Независимых Государств. Ежегодный сборник [2010–2020]. URL: <https://cloud.mail.ru/public/Zs2y/eXpis5KCZ> (дата обращения: 20.04.2026) ; Краткая ежегодная информация об исполнении федерального бюджета // Минфин России. URL: https://minfin.gov.ru/ru/statistics/fedbud/execute?id_57=80041-kratkaya_ezhegodnaya_informatsiya_ob_ispolnenii_federalnogo_byudzhet_mlrld_rub (дата обращения: 20.04.2026).

$$Y = \frac{702,2115 - 0,1390 \cdot (\alpha_{11}^A + \alpha_{12}^A) + 19,6799 \cdot \alpha_{21}^A / (1 - \alpha_{22}^A)}{1748,8465 + 0,2620 \cdot (\beta_{11}^B + \beta_{12}^B + \beta_{13}^B + \beta_{14}^B) + 0,0046 \cdot (\beta_{21}^B - \beta_{22}^B)} \cdot 100. \quad (11)$$

Для оценки качества модели был проведен анализ точности путем расчета относительной ошибки аппроксимации (табл. 4). Средняя ошибка аппроксимации по выборке составляет 1,622 %,

это менее 5 %, что, согласно общепринятым критериям, свидетельствует о высоком качестве полученной модели.

Таблица 4. Модельные значения ключевого показателя и оценка качества модели

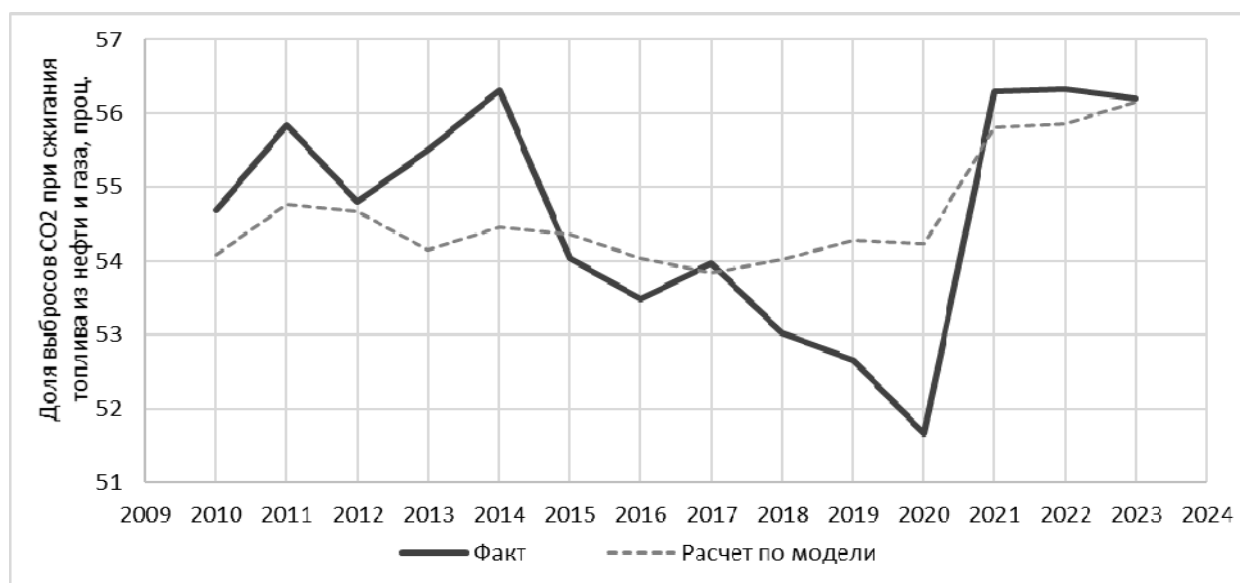
Table 4. Model values of the Key Indicator and assessment of the model quality

Год	Доля выбросов CO ₂ при сжигании топлива из нефти и газа в общем объеме выбросов парниковых газов в РФ, %		Абсолютное отклонение, %	Ошибка аппроксимации, %
	фактическое Y	расчетное по модели Y'		
2010	54,6895	54,0787	0,6109	1,117
2011	55,8420	54,7671	1,0749	1,925
2012	54,7997	54,6646	0,1351	0,246
2013	55,5053	54,1476	1,3577	2,446
2014	56,3221	54,4510	1,8711	3,322
2015	54,0299	54,3596	0,3297	0,610
2016	53,4888	54,0358	0,5470	1,023
2017	53,9770	53,8455	0,1315	0,244
2018	53,0300	54,0211	0,9911	1,869
2019	52,6435	54,2806	1,6371	3,110
2020	51,6608	54,2259	2,5651	4,965
2021	56,3045	55,8150	0,4895	0,869
2022	56,3356	55,8572	0,4784	0,849
2023	56,2089	56,1463	0,0626	0,111
Итого: средняя ошибка аппроксимации:				1,622

Источник: составлена авторами.

Сопоставление фактических и модельных значений ключевого показателя, приведенное на рис. 2,

показывает, что кривая значений, определенных по модели, имеет более сглаженную форму.



Источник: выполнен авторами.

Рис. 2. Результат моделирования ключевого показателя «Доля выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа в совокупных выбросах парниковых газов РФ»

Fig. 2. Result of modeling the key indicator “Share of CO₂ emissions from the fossil fuels oil and gas combustion in total greenhouse gas emissions of the Russian Federation”

Выбросы CO₂, образуемые при использовании природного газа и нефти для получения энергии, являются причиной 52–57 % выбросов парниковых газов в России. Динамика значений доли выбросов при сжигании топлива из нефти и газа, как следует из рис. 2, – нестабильная, и возникает при одновременном влиянии большого множества факторов. Так, COVID-19 оказал существенное негативное влияние на показатели выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива и в мире, и в России. Сначала пандемия вызвала значительное сокращение выбросов в течение 2020 г., основной причиной этого считается сокращение деловой активности и общий экономический спад. Далее в 2021 г. произошел откат, вызвавший рекордный рост эмиссии CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа. Такая картина в этот период характерна для многих стран мира. Помимо ВВП, в качестве влияющего фактора выступают цены на нефть и газ (рост цен приводит к сокращению выбросов CO₂ через повышение затрат и снижение производства) [8].

Еще одно пиковое значение доли выбросов на рис. 2 наблюдается в 2014 г., что, вероятно, сложилось в России вследствие введения западных санкций, поставивших требование импортозамещения, и это стимулировало развитие собственного производства и трансформировало логистические цепи поставок.

Анализ результатов моделирования

Результаты моделирования показали, что характер влияния объемов добычи нефти и газа на выбросы CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа – отрицательный: при повышении добычи на 1 млн т у.т. выбросы CO₂ снижаются на 0,139 млн т. Это объясняется рядом причин.

Во-первых, значительная доля добываемых в стране ресурсов нефти и газа, а также произведенных в стране нефтепродуктов, отправлялась на экспорт, значит, их потребление или сжигание происходило в других странах, где и возникали соответствующие выбросы CO₂. Так, в предшествующий санкциям период 2010–2021 гг. из России экспортировалось от 27 до 32 % добываемого природного газа, в 2023 г. эта доля составила 19,5 %. Практически половина добываемой российской нефти (от 43 до 48 % в 2010–2024 гг.) поставлялась на экспорт. Аналогично, по приблизительным подсчетам, до 2022 г. экспортировалось порядка 40–50 % производимых нефтепродуктов. Следовательно, направляемый на экспорт объем добываемого

углеводородного сырья не оказывает существенного влияния на эмиссию CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа в России.

Во-вторых, направленная государственная политика по снижению выбросов парниковых газов в процессе добычи простимулировала нефтегазовые компании внедрять технологии энергосбережения и экологической защиты окружающей среды. Наиболее известно решение проблемы утилизации попутного нефтяного газа: отказ от факельного сжигания газа и внедрение сайклинга (обратной закачки газа в пласт) [9]. Таким образом, позитивный эффект по снижению выбросов CO₂ при увеличении объемов добычи в большой мере обусловлен эффективной работой нефтегазовых компаний по достижению целей устойчивого развития и выполнению климатической повести.

При текущей структуре энергопотребления в России, повышение энергопотребления на 1 ЭДж соответствует увеличению объема выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа на 20 тыс. т. При этом на эмиссию CO₂ влияет напрямую количество первичной энергии, потребленной из нефти, угля и газа. Существенное влияние оказывает структура выбросов, и конкретно – доля в общем объеме энергопотребления источников атомной энергетики и возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ); для источников ВИЭ связь с показателем обратная.

Исследование В. П. Небезина и М. Д. Шуваринова, проведенное по данным стран Европейского союза и направленное на математическое моделирование выбросов CO₂, показало, что наиболее эффективным способом сокращения выбросов парниковых газов является развитие возобновляемых источников энергии. По оценкам данных авторов, увеличение доли потребления энергии из возобновляемых источников на 1 % стимулирует сокращение выбросов CO₂ на 620 тыс. т. [10, с. 624].

Общий объем выбросов парниковых газов в стране можно объяснить, в первую очередь, объемом и структурой производимой электроэнергии. Согласно полученной модели, производство 1 млрд кВт-ч электрической энергии обуславливает повышение на 0,262 млн т общего объема эмиссии парниковых газов в РФ.

Объем производства электроэнергии в стране ежегодно увеличивается, со средним темпом 1 % в год. По статистическим данным 2023 г., структура производства электроэнергии по объектам генерации выглядит следующим образом: 63 % – ТЭЦ; 18 % – ГЭС; 19 % – АЭС; менее

1 % – ВИЭ¹. Наибольшие загрязнения производят тепловые электростанции, перерабатывающие ископаемые углеводороды: уголь, природный газ, кокс, а также продукты нефтепереработки дизельное топливо и мазут – в электричество.

Для сравнения, в России углеродный след ТЭС, работающих на угле составляет 1000 г/кВт-ч; ТЭС, использующих природный газ – 450 г/кВт-ч; углеродный след ГЭС – 24 г/кВт-ч; углеродный след считающихся наиболее чистым источником энергии АЭС оценивается в 12 г/кВт-ч [11].

Коэффициенты корреляции Пирсона r , применяемые в настоящем исследовании для предварительного отбора факторов, показали, что используемые показатели выбросов парниковых газов лучше коррелируют с доходами бюджета РФ, чем с ВВП (руб.). Показатель доли выбросов CO₂ при сжигании нефти и газа наиболее тесные связи формирует с нефтегазовыми доходами федерального бюджета ($r = 0,398$) и с долей нефтегазовых доходов в бюджете ($r = 0,348$). Объемы выбросов CO₂ при сжигании нефти и газа при этом образуют наиболее тесную связь с нефтегазовыми доходами ($r = 0,646$). А для совокупных выбросов парниковых газов более значимы, хотя и невысоки, корреляции с нефтегазовыми доходами ($r = 0,466$) и нефтегазовыми доходами бюджета ($r = 0,379$).

Таким образом, в полученной модели определен следующий фактор влияния: увеличение величины нефтегазовых доходов на 1 млрд руб. сопряжено с ростом выбросов парниковых газов на 0,0046 млн т. Несмотря на меньший количественный вклад этого фактора в формирование показателя в математической модели следует указать, что фактор нефтегазовых доходов находится под влиянием нелинейных разнонаправленных связей с множеством социально-экономических показателей страны. Объяснить взаимовлияние можно следующим образом: нефтегазовые доходы, получаемые государством в связи с добычей и экспортом нефтегазового сырья и продукции, способствуют повышению благосостояния национальной экономики, т. к. снижают налоговую и производственную нагрузку на другие отрасли, повышают уровень потребления населением разнообразных экономических благ, расширяют доступ к лучшим

мировым технологиям и продукции за счет положительного сальдо торгового баланса, включая социальные и государственные услуги. Повышение экономического благосостояния населения ведет к увеличению потребительских расходов и расширению промышленного производства. Следовательно, вызывает увеличение потребления энергии, что логично приводит к увеличению эмиссии CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа и увеличению совокупных выбросов парниковых газов в России.

Весомое значение имеют общий размер и структура федерального бюджета – соотношение между нефтегазовыми и нефтегазовыми доходами. Размер нефтегазовых доходов бюджета демонстрирует гораздо большую корреляцию с разнообразными макроэкономическими показателями государства, прежде всего, с показателями, выражающими социальное благополучие страны и технологическое развитие. Доля нефтегазовых доходов бюджета непосредственно сильно коррелирует с такими показателями как курс доллара и мировые цены на нефть и газ.

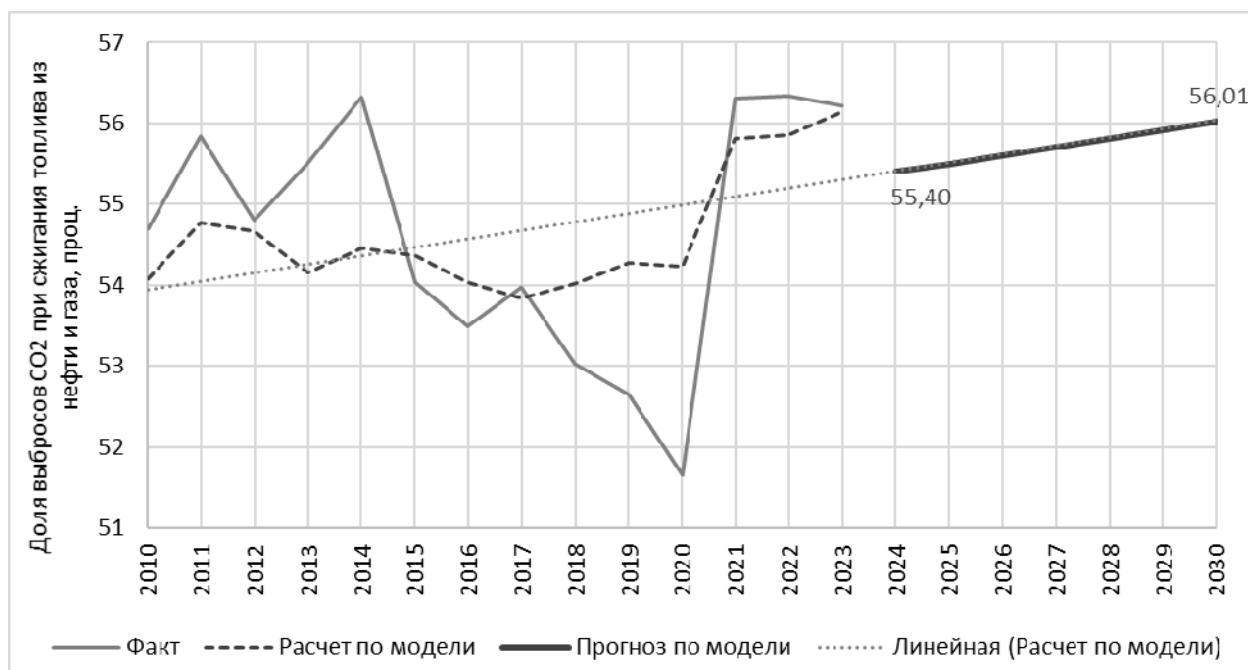
Доля нефтегазовых доходов бюджета РФ снизилась в 2023 г. с уровня около 50 до 30 %. Последствиями этого для показателей выбросов парниковых газов должно стать, с одной стороны, снижение выбросов в связи с рецессией национальной экономики, с другой – их повышение по причине переноса налогового давления на другие отрасли и другие виды экономической деятельности организаций, включая нефтегазовые компании.

Использование модели для прогнозирования

Полученная в исследовании математическая модель может быть использована для оценки тенденций изменений и прогнозирования динамики ключевого показателя в среднесрочном периоде (5–10 лет).

Прогнозирование значений ключевого показателя проводилось следующим образом: сначала при помощи линейной регрессии были спрогнозированы значения факторов α_i^j и β_i^j по известным значениям 2010–2023 гг., а далее был проведен расчет по формуле (11) прогнозных значений ключевого показателя на 2024–2030 гг. (рис. 3).

¹ Электроэнергетика Содружества Независимых Государств. Ежегодный сборник [2014–2024]. URL: [http://energocis.ru/wyswyg/file/Gertzen/СБОРНИК%202014-2024%20ИТОГ%20\(кopp\).pdf](http://energocis.ru/wyswyg/file/Gertzen/СБОРНИК%202014-2024%20ИТОГ%20(кopp).pdf) (дата обращения: 21.04.2026).



Источник: выполнен авторами.

Рис. 3. Прогнозирование значений доли выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа в совокупных выбросах парниковых газов РФ

Fig. 3. Forecasting the Share of CO₂ emissions from the fossil fuels oil and gas combustion in total greenhouse gas emissions of the Russian Federation

Построенный прогноз отражает инерционный сценарий развития, сохраняющий тенденции предыдущих лет. Такими тенденциями в энергетической сфере являются: незначительное повышение объемов добычи нефти и газа, повышение объема энергопотребления до 32,40 ЭДж в 2030 г., улучшение структуры потребления первичной энергии с повышением доли «зеленых» источников атомной энергетики и возобновляемой энергии до 0,1042 в 2030 г., снижение производства электроэнергии тепловыми электростанциями, повышение генерации на гидроэлектростанциях и атомных электростанциях, а также существенное наращивание производства электроэнергии возобновляемыми источниками до 22,68 млрд кВт·ч в 2030 г. В части формирования федерального бюджета инерционный прогноз показывает увеличение общей величины доходов до 36 659 млрд руб. к 2030 г., при этом доля нефтегазовых доходов в бюджете будет составлять от 34,2 до 31,9 % с тенденцией постепенного ее снижения.

График линейного тренда, построенного для смоделированного ряда за 2010–2023 гг., характеризуется как повышательное изменение доли выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа. Полученные прогнозные значения по модели также демонстрируют повышение значений данного показателя в периоде до 2030 г.

При соблюдении перечисленных допущений доля выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа в прогнозе будет увеличиваться и предположительно достигнет к 2030 г. 56,0 %.

Авторами предпринимались попытки на основе математической модели построить экономически адекватные прогнозные сценарии, в которых бы снижались одновременно размер совокупных выбросов и доля выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа. Регулируя масштаб и направление изменений в прогнозном периоде значений, включенных в модель показателей (см. рис. 1), оказалось, что невозможно выйти на такой сценарий, в котором достижение целей по климату не приводило бы к существенному ухудшению экономики страны. В связи с этим авторы полагают, что для достижения целей промышленного и научно-технического развития экономики страны спрогнозированный уровень выбросов CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа является математически и практически обоснованным.

Выводы

Практически невозможно преломить тенденции инерционного сценария в условиях санкционных ограничений, которые значительно ухудшили состояние нефтегазового комплекса и ослабили российскую экономику [12], и в си-

туации проведения специальной военной операции и ожидаемых по ее окончании действий по восстановлению экономики.

В прогнозе развития энергетики мира и России, составленном сотрудниками Института элементоорганических соединений имени А. Н. Несмеянова Российской академии наук (ИНЭОС РАН), для всех разработанных сценариев развития энергетики ожидается увеличение мировых выбросов парниковых газов при сжигании всех видов топлив, с достижением пиковых значений в 2034–2036 гг. Для России данные специалисты прогнозируют ожидание роста энергопотребления на фоне необходимости роста ВВП и повышения доходов населения, которое будет сопровождаться повышением внутреннего спроса на нефть, газ и нефтепродукты как минимум до 2035–2040 гг., что означает повышение выбросов парниковых газов, т. к. меры по энергосбережению и развитие «зеленой» энергетики, еще долго не сможет компенсировать возрастающие потребности в энергии [13].

Следовательно, для достижения цели по снижению размеров выбросов CO₂ и снижению доли выбросов при сжигании топлива из нефти и газа необходимы колоссальные усилия государства и бизнеса по изменению технологической парадигмы промышленности и цифровизации экономики; по проведению структурной перестройки экономики с замещением отраслей нефтегазовой промышленности и связанных с нею сфер материального производства; технологической перестройки электроэнергетики и жилищно-коммунального хозяйства; существенных сдвигов энергопотребления в транспортном секторе. При этом важно обеспечить изменение структуры доходной части бюджета, обеспечивая повышенный приток нефтегазовых доходов, в том числе за счет развития внутреннего потребления и экспорта низкоэнергоемкой или высокотехнологичной продукции, а также услуг. Одновременно потребует решения другая сложная задача по повышению благосостояния населения с одновременной сменой парадигмы потребления в направлении разумного потребления и энергосбережения.

Снижение доли участия продукции нефтегазового комплекса в объемах эмиссии парниковых газов может свидетельствовать о технологическом развитии РФ и переходе к технологиям Индустрии 4.0.

Библиографические ссылки

1. *Муфтохтдинова А. А.* Применение ESG-принципов в государственном управлении // *Global and*

Regional Research. 2025. Т. 7. № 2. С. 222–229. EDN: PYBNRH

2. *Ефимова Е. Г., Мальцев А. А., Чупина Д. А.* «Зеленая» повестка в современной практике стран и регионов: в поисках единого подхода // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика.* 2023. Т. 39. № 1. С. 55–72. DOI: 10.21638/spbu05.2023.103. EDN: DZBCYY

3. *Каницкая Л. В., Горбунова О. И.* Новые вызовы нефтегазовому сектору России при переходе к низкоуглеродной экономике // *Известия Байкальского государственного университета.* 2022. Т. 32, № 1. С. 29–38. DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(1).29-38

4. *Xuguang Wang, Romesa Bilal, Jamshaid ur Rehman.* Economic development and carbon emissions across world regions: Exploring heterogeneous drivers // *Journal of Environmental Management.* 2025. Vol. 396. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.128048

5. *Сечин И. И.* Альтернативы мировой энергетики: трансформационные тренды и риски // *Мировая экономика и международные отношения.* 2021. Т. 65. № 10. С. 33–44. DOI: 10.20542/0131-2227-2021-65-10-33-44. EDN: PEWBXR

6. *Волченко О. В., Широканова А. А.* Применение многоуровневого регрессионного моделирования к межстрановым данным (на примере генерализованного доверия) // *Социология: методология, методы, математическое моделирование.* 2016. № 43. С. 7–62. EDN: ZDEEIP

7. *Волченко О. В., Широканова А. А.* Применение многоуровневого регрессионного моделирования к межстрановым данным (на примере генерализованного доверия) // *Социология: методология, методы, математическое моделирование.* 2016. № 43. С. 7–62. EDN: ZDEEIP

8. *Fredj Jawadi, Philippe Rozin, David Bourghelle.* Insights into CO₂ emissions in Europe in the context of COVID-19: A panel data analysis // *International Economics.* 2023. Vol. 173. Pp. 164–174. DOI: 10.1016/j.inteco.2022.11.006

9. *Зайнулин С. М., Сторожева А. Е.* Оценка эффективности применения метода CO₂-EOR для увеличения нефтеотдачи на месторождении шельфа о. Сахалин // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2025. № 3. С. 51–62. DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4656

10. *Невежин В. П., Шувариков М. Д.* Исследование факторов, влияющих на выбросы углекислого газа // *Управленческий учет.* 2022. № 3-3. С. 618–625. DOI: 10.25806/uu3-32022618-625. EDN: EXZKUY

11. Углеродный след энергетического сектора / Л. Р. Гайнуллина, А. Р. Фасыхов, Н. Ф. Тимербаев, В. Р. Ибрагимов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2024. Т. 32, № 4. С. 365–384. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-365-384. EDN: MYOVNQ

12. *Бирюкова А. И., Дзизинская Д. В.* Санкционное регулирование нефтяного сектора России: комплексный анализ воздействия и стратегий адаптации // *Baikal Research Journal.* 2025. Т. 16. № 3. С. 1191–1202.

DOI: 10.17150/2411-6262.2025.16(3).1191-1202. EDN: PTOXHX

13. Кулагин В. А., Грушевенко Д. А., Галкина А. А. Прогноз развития энергетики мира и России до 2050 года // Современная мировая экономика. 2024. Т. 2. № 1 (5). С. 6–22. DOI 10.17323/2949-5776-2024-2-1-6-22. EDN: NFEMPD

References

1. Muftokhtdinova A.A. [Application of ESG principles in public administration]. *Global and Regional Research*, 2025, vol. 7, no. 2, pp. 222-229 (in Russ.). EDN: PYBNRH

2. Efimova E.G., Maltsev A.A., Chupina D.A. [Green agenda in the modern practice of countries and regions: In search of a unified approach]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika*, 2023, vol. 39, no. 1, pp. 55-72. (in Russ.). DOI: 10.21638/spbu05.2023.103. EDN: DZBCYY

3. Kanitskaya L.V., Gorbunova O.I. [New challenges faced by Russian oil and gas sector in transition to a low-carbon economy]. *Izvestiya Baikalskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, vol. 32, no. 1, pp. 29-38. (in Russ.). DOI: 10.17150/2500-2759.2022.32(1).29-38

4. Xuguang Wang, Romesa Bilal, Jamshaid ur Rehman. Economic development and carbon emissions across world regions: Exploring heterogeneous drivers. *Journal of Environmental Management*, 2025, vol. 396. (in Engl.). DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.128048

5. Sechin I.I. [Alternatives of global energy: transnational trends and risks]. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*, 2021, vol. 65, no. 10, pp. 33-44. (in Russ.). DOI: 10.20542/0131-2227-2021-65-10-33-44. EDN: PEWBXR

6. Volchenko O.V., Shirokanova A.A. [Applying multilevel regression modeling to cross-national data (on the example of generalized trust)]. *Sotsiologiya: metodologiya, metody, matematicheskoe modelirovanie*, 2016,

no. 43, pp. 7-62. (in Russ.). EDN: ZDEEIP

7. Volchenko O.V., Shirokanova A.A. [Applying multilevel regression modeling to cross-national data (on the example of generalized trust)]. *Sotsiologiya: metodologiya, metody, matematicheskoe modelirovanie*, 2016, no. 43, pp. 7-62. (in Russ.). EDN: ZDEEIP

8. Fredj Jawadi, Philippe Rozin, David Bourghelle. Insights into CO₂ emissions in Europe in the context of COVID-19: A panel data analysis. *International Economics*, 2023, vol. 173, pp. 164-174. (in Engl.). DOI: 10.1016/j.inteco.2022.11.006

9. Zainulin S.M., Storozheva A.E. [Evaluation of the effectiveness of the CO₂-EOR method for enhanced oil recovery in the offshore Sakhalin Island field]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2025, no. 3, pp. 51-62. (in Russ.). DOI: 10.18799/24131830/2025/3/4656

10. Nevezhin V.P., Shuvarikov M.D. [Study of factors affecting carbon dioxide emissions]. *Upravlencheskii uchet*, 2022, no. 3-3, pp. 618-625. (in Russ.). DOI: 10.25806/uu3-32022618-625. EDN: EXZKUY

11. Gainullina L.R., Fasykhov A.R., Timerbaev N.F., Ibragimova V.R. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2024, vol. 32, no. 4, pp. 365-384. (in Russ.). DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-365-384. EDN: MYOVNQ

12. Biryukova A.I., Dzizinskaya D.V. [Sanctions regulation of the Russian oil sector: a comprehensive analysis of impacts, risks, and adaptation strategies]. *Baikal Research Journal*, 2025, vol. 16, no. 3, pp. 1191-1202. (in Russ.). DOI: 10.17150/2411-6262.2025.16(3).1191-1202. EDN: PTOXHX

13. Kulagin V.A., Grushevenko D.A., Galkina A.A. [Global and Russian energy outlook up to 2050]. *Sovremennaya mirovaya ekonomika*, 2024, vol. 2, no. 1 (5), pp. 6-22. (in Russ.). DOI: 10.17323/2949-5776-2024-2-1-6-22. EDN: NFEMPD

S. A. Karkhova, PhD in Economics, Associate Professor

L. B. Mihailova, Student

E. R. Muravyeva, Student

Baikal State University, Irkutsk, Russia

MODELING CARBON DIOXIDE CO₂ EMISSIONS FROM THE FOSSIL FUELS COMBUSTION OF OIL AND GAS IN CORRELATION TO THE MACROECONOMIC AND INDUSTRY INDICATORS

The article discusses the problem of achieving the goals of the Russian Federation to reduce greenhouse gas emissions. The purpose of the study is to establish quantitative correlations of the CO₂ emissions from the fossil fuels oil and gas combustion with the industry indicators of the Energy sector, especially the Oil&Gas, as well as with Russian macroeconomic indicators.

An econometric model has been developed in the form of a hierarchical system of interconnected multiple linear regression equations. The created model makes it possible to evaluate the correlations of the key indicator "Share of CO₂ emissions from the fossil fuels oil and gas combustion in total greenhouse gas emissions of the Russian Federation" with several energy and macroeconomics indicators. CO₂ emissions the fossil fuels oil and gas combustion in the Russia are analyzed in correlation with the oil and gas production, the primary energy consumption and its structure by energy sources. Cumulative greenhouse gas emissions are considered depending on the factor of electricity production by type of generation, and on the factor of federal budget revenues and budget structure.

The forecast of key indicator values through 2030 was conducted using the developed model. A general upward trend in the change of the key indicator has been established, with a forecast increase in the share of emissions from the fossil fuels oil and gas combustion. A conclusion was made about the colossal difficulties in achieving the indicators of Russia's climate doctrine. Mathematical modeling of forecasting to the inertial scenario has made it possible to prove that the drive to reduce greenhouse gas emissions has a negative impact on Russia's macroeconomics. To overcome this, it is necessary to restructure the economy by reducing the Oil&Gas sector, implement a technological shift in industrial development, and change the sources of revenue for the Federal budget.

Keywords: greenhouse gas emissions; Macroeconomic and Industry Indicators; oil&gas budget revenues; energy consumption; multiple linear regression; forecasting

Получена: 16.04.2026

ГРНТИ 06.71.63

Образец цитирования

Кархова С. А., Михайлова Л. Б., Муравьева Е. Р. Моделирование выбросов диоксида углерода CO₂ при сжигании топлива из нефти и газа во взаимосвязи с макроэкономическими и отраслевыми показателями // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2026. Т. 22, № 2. С. 40–53. DOI: 10.22213/2618-9763-2026-2-40-53

For Citation

Karkhova S.A., Mihailova L.B., Muravyeva E.R. [Modeling carbon dioxide CO₂ emissions from the fossil fuels combustion of oil and gas in correlation to the macroeconomic and industry indicators]. *Social'no-ekonomiceskoe upravlenie: teoria i praktika*, 2026, vol. 22, no. 2, pp. 40-53 (in Russ.). DOI: 10.22213/2618-9763-2026-2-40-53