

Оригинальная статья / Original article
УДК 330.35.011; 330.356; 330.15; 504.75.05
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-14



Экологические аспекты экономического роста Российских регионов

Набиюла С. Гичиев¹, Надира О. Гусейнова²

¹Институт социально-экономических исследований Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Набиюла С. Гичиев, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом теории и методологии регионального развития, Институт социально-экономических исследований Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; 367030 Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75.
Тел. +79034820767
Email nabi-05@mail.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0587-4853>

Формат цитирования

Гичиев Н.С., Гусейнова Н.О. Экологические аспекты экономического роста Российских регионов // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 160-178. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-14

Получена 22 октября 2024 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Целью исследования является оценка взаимосвязи динамики экономического роста и уровня выбросов загрязняющих веществ в экосистему регионов России в период с 1999 по 2023 год.

В работе использованы методы анализа уровня антропогенного воздействия на окружающую среду, основанные на оценке параметров «экологической кривой Кузнецца», декаплинга и регрессионной модели.

Анализ выполнен на основе данных, охватывающих 8 федеральных округов России, включая Южный и Северо-Кавказский федеральные округа. Рассмотрены особенности применения анализа экологической кривой Кузнецца для изучения взаимосвязи экологических и экономических показателей. Представлена количественная оценка взаимосвязи валового регионального продукта с показателями сброса загрязненных сточных вод, выбросами загрязняющих веществ в атмосферу по федеральным округам России: построена экологическая кривая Кузнецца, рассчитаны значения декаплинга и параметры регрессионной модели для федеральных округов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что экономическое развитие регионов России в долгосрочной перспективе не может быть в полной мере признано экологически сбалансированным и способствующим снижению его воздействия на окружающую среду. Результаты статистической оценки взаимного влияния антропогенного воздействия на окружающую среду могут служить основой для корректировки параметров эколого-экономической стратегии, направленной на достижение устойчивого и сбалансированного роста регионов России.

Ключевые слова

Экономический рост, экология, каплинг, декаплинг, экологическая кривая Кузнецца, диаграмма рассеяния, макрорегион, регрессионная модель.

Environmental aspects of the economic growth of Russian administrative regions

Nabiyula S. Gichiev¹ and Nadira O. Guseynova²

¹Institute of Social and Economic Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Nabiyula S. Gichiev, PhD in Economics, Leading Researcher, Head, Department of Theory and Methodology of Regional Development, Institute of Social and Economic Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 75 Yaragского St, Makhachkala, Russia 367030. Tel. +79034820767

Email nabi-05@mail.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0587-4853>

How to cite this article

Gichiev N.S., Guseynova N.O. Environmental aspects of the economic growth of Russian administrative regions. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):160-178. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-14

Received 22 October 2024

Revised 14 December 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The objective was to assess the relationship between the dynamics of economic growth and the level of pollutant emissions in the ecosystems of Russian administrative regions in the period from 1999 to 2023.

The work uses methods for analysing the level of anthropogenic impact on the environment, based on the assessment of the parameters of the "ecological Kuznets curve", coupling, decoupling and regression modelling. The analysis is based on data covering 8 federal districts of Russia, including the Southern and North Caucasian federal districts. Features were considered of application of the analysis of the ecological Kuznets curve to study the relationship between environmental and economic indicators. A quantitative assessment is presented of the relationship between the gross regional product and the rate of discharge of polluted wastewater and pollutant emissions into the atmosphere by federal districts of Russia: ecological Kuznets curves were constructed and the decoupling values and the parameters of the regression model are calculated.

The results obtained indicate that the economic development of Russian regions in the long term cannot be fully recognized as being balanced ecologically nor does it contribute to the reduction of its environmental impact. The results of the statistical assessment of the anthropogenic impact on the environment can serve as a basis for adjusting the parameters of an ecological-economic strategy aimed at achieving sustainable and balanced growth in Russian administrative regions.

Key Words

Economic growth, ecology, coupling, decoupling, ecological Kuznets curve, scatter diagram, macroregion, regression model.

ВВЕДЕНИЕ

Взаимосвязь между экономическим ростом и антропогенным воздействием на окружающую среду представляет собой сложную и многогранную задачу, учитывающую многие факторы и условия их развития. Наблюдаемая сегодня экономическая динамика, особенно в промышленных секторах, может привести к негативным последствиям для окружающей среды, включая неконтролируемое использование ресурсов, что, в свою очередь, ведет к их истощению.

С другой стороны, состояние экологии оказывает влияние на экономический рост. Загрязнение воздуха, воды и почвы может отрицательно сказаться на здоровье населения и качестве жизни, что приводит к снижению производительности труда и увеличению расходов на здравоохранение. В то же время более чистая экология обеспечивает повышение качества жизни и рост производительности труда.

Однако взаимосвязь между экономическим ростом и качеством окружающей среды может быть жесткой и зависеть от контекста, политики и мер, направленных на более устойчивое развитие. В концепции перехода РФ к устойчивому развитию отмечается структурная деформация и неэффективность прежней российской экономики, что привело к относительно более быстрому росту проблем в сфере экологии по сравнению с технологическими новациями. Значительная часть производственных фондов не соответствовала современным экологическим требованиям, а 16 % территории страны, где проживает более половины населения, относилась к экологически неблагоприятной.

Концепция перехода к устойчивому социально-экономическому развитию должна предлагать сбалансированное решение проблем сохранения благоприятной окружающей среды, обеспечивающей нынешнее и будущее его гармоничное развитие, что в свою очередь подразумевает последовательное решение ряда принципиальных задач в этой сфере.

В этой связи следует отметить, что использование валового внутреннего продукта (ВВП) в качестве основного показателя оценки уровня благосостояния привело к различным проблемам, угрожающим сбалансированному развитию, таким как увеличение доходов, одновременно сопряженное с быстрым истощением ресурсов и ростом выбросов загрязняющих веществ. Хотя ВВП является важным индикатором экономической активности, он недостаточен для интегральной оценки сбалансированного роста экономики, поскольку не учитывается множество других нерыночных активов, имеющих значение для роста благосостояния. Поэтому для достижения сбалансированного развития необходимо учитывать не только социально-экономические, но и экологические аспекты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экономический рост часто оказывается экологически неустойчивым, а низкие или отрицательные темпы его роста могут привести к негативным последствиям. Развивающаяся экологическая макроэкономика предлагает новые подходы к моделированию взаимосвязей между динамикой валового регионального продукта и выбросом загрязняющих веществ.

Поэтому необходим постоянный мониторинг и изучение взаимосвязей экономического роста с антропогенным воздействием на окружающую среду.

В работе [1] отмечается, что «Экологическая экономика фокусируется на ценности природных услуг и пытается включить эти услуги в расчеты цен. В этом кратком документе основное внимание уделяется тому, как общества могут создавать возможности для зеленого и инклюзивного экономического восстановления, и направлено на достижение этой цели с помощью структурированного подхода к оценке, который помогает лицам, принимающим решения, осознать широкий спектр преимуществ, предоставляемых экологией и экосистемами, их ценность в экономическом плане и в принятии решений».

В работе [2] представлен критический анализ исследований экологической проблематики, рассмотрены 179 статей, содержащих доказательства абсолютного деаплинга между выбросами CO₂, но отмечается отсутствие доказательств абсолютного глобального разрыва такой связи.

В работе [3] отмечается, что «Производство сельскохозяйственных культур и животноводство стали пространственно разъединенными в существующих коммерческих сельскохозяйственных режимах по всему миру. Эти сегрегированные системы производства с высоким уровнем затрат способствуют возникновению некоторых из наиболее острых проблем устойчивости в мире, включая изменение климата, дисбаланс питательных веществ, загрязнение воды, сокращение биоразнообразия и все более нестабильные условия жизни в сельской местности».

Отдельные аспекты влияния глобальных изменений окружающей среды на экологию представлены в исследовании [4], в котором отмечается, что «исследование подчеркивает важность интегративных исследований надземной-подземной системы для улучшения прогнозирования последствий глобальных изменений окружающей среды».

В исследовании отмечается взаимосвязь изменений климата с биологическим разнообразием в природе [5] «Разрыв связи между видообразованием и вымиранием в сочетании с экологическим разделением раскрывает более сложную картину эволюции ..., чем считалось ранее. Поскольку число видов, находящихся под угрозой исчезновения из-за антропогенного изменения климата, продолжает расти...».

В диссертации Miguel Clavero Pablo M. Avidad также исследованы экологические аспекты и представлены доказательства взаимосвязанных изменений в окружающей среде [6] «результаты предоставляют достаточно доказательств ... быстрых изменений ... за относительно короткие промежутки времени, что имеет последствия для экологии и перспектив сохранения».

В нашем исследовании для оценки детерминант сбалансированного роста региона использованы следующие методы анализа взаимосвязи экономического роста и уровня загрязнения окружающей среды – *каплинг*, *деаплинг* и *экологическая кривая Кузнеца* (ЭКК).

В данном контексте требуется единообразное понимание контекста используемого понятийно-категориального аппарата. Поэтому ниже приводится

характеристика основных терминов, используемых в данной статье.

Экологическая кривая Кузнец (ЭКК) представляет собой гипотетическую модель, которая описывает взаимосвязь между экономическим ростом и загрязнением окружающей среды. Исследования Гроссмана и Крюгера в начале 1990-х годов привели к использованию кривой Кузнец в экологической политике. Они применили эту концепцию для изучения взаимосвязи между экономическим ростом и состоянием окружающей среды, что привело к появлению «экологической кривой Кузнец».

Экологическая кривая Кузнец имеет форму перевернутой U-образной кривой, которая иллюстрирует, как загрязнение окружающей среды меняется с ростом доходов на душу населения. На ранних стадиях экономического развития, когда доходы на душу населения низкие, загрязнение окружающей среды в нынешней эпоху увеличивается по мере роста экономики. Это связано с тем, что в периоды быстрого индустриального развития страны часто отдают приоритетное значение над ростом экологических проблем.

Однако когда доходы на душу населения распределяются по определенным уровням, тенденция меняется. В результате экономического роста в странах, где доходы высоки, начинается улучшение ситуации в окружающей среде. Это происходит потому, что более высокие состоятельные граждане начинают требовать более чистой и безопасной среды обитания, а у правительства появляется больше ресурсов для инвестирования в экологические проекты.

Экологическая кривая Кузнец используется в качестве инструмента анализа взаимосвязей между экономическим развитием и экологическими показателями, помогая лучше оценить влияние экономического роста на состояние окружающей среды, и определению мер борьбы с загрязнением окружающей среды.

Вместе с тем данный аналитический инструмент имеет свои специфические недостатки. Некоторые исследователи оспаривают универсальность этой модели, указывая на то, что она может не работать одинаково для всех стран и регионов.

Кроме того, ЭКК не учитывает все факторы, влияющие на современное состояние окружающей среды, такие как технологические достижения, политические решения и изменения в поведении потребителей. Поэтому важно использовать эту модель в сочетании с другими инструментами анализа для получения более полных картин взаимосвязи между экономикой и текущим состоянием.

Таким образом, экологическая кривая Кузнец является достаточно востребованным методом исследования сложных взаимосвязей между экономическим ростом и загрязнением окружающей среды, позволяющим оценить возможные положительные, так и отрицательные последствия экономического развития для окружающей среды, в зависимости от стадии развития страны. Используя эту модель, правительство и бизнес смогут разработать более эффективные стратегии для достижения прогресса и снижения уровня загрязнения окружающей среды.

Характеризуя понятие *каплинга* (coupling) в экологии, необходимо отметить, что с его помощью также оцениваются взаимосвязи между экономическим развитием и воздействием на окружающую среду. Это понятие подразумевает, что увеличение экономической активности может приводить к росту экологического давления, однако существует также концепция *декаплинга*, которая предполагает возможность отделения экономического роста от негативного воздействия на природу.

Декаплинг (decoupling) представляет собой концепцию, которая предполагает разрыв или разделение между экономическим ростом и негативными воздействиями на окружающую среду. Основная цель *декаплинга* заключается в достижении экономического роста без увеличения вреда для окружающей среды, а даже с его уменьшением.

Сущность одного из методических подходов к оценке фактора *декаплинга* (D_t) выражается отношением уровня экологической нагрузки к ВВП (ВРП) в конце и начале исследуемого периода [7; 8]. Например, для оценки уровня экологической нагрузки от выброса парниковых газов используется расчетная формула следующего вида (1):

$$D_t = \frac{CO_{2t}}{GDP_t} / \frac{CO_{2t-1}}{GDP_{t-1}} \quad (1)$$

где D_t – индекс *декаплинга*;

CO_{2t} – текущее значение выброса вредных веществ;

CO_{2t-1} – предыдущее значение выброса вредных веществ;

GDP_t – текущее значение ВРП;

GDP_{t-1} – предыдущее значение ВРП.

Интерпретация методики: полученные результаты оцениваются относительно единицы. При $D_t \leq 1$ фиксируется наличие эффекта *декаплинга*.

Согласно методике Организации экономического сотрудничества и развития, «фактор *декаплинга* определяется по формуле (2), только указанное соотношение вычитается из единицы» [9]:

$$D_t = 1 - \frac{EF_t}{DF_t} / \frac{EF_{t-1}}{DF_{t-1}} \quad (2)$$

где EF – показатель, отражающий негативное воздействие на окружающую среду;

DF – показатель, отражающий развитие экономики (ВВП, ВРП, объем производства и др.).

Расчет эффекта *декаплинга* возможен по формуле:

$$DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0) \quad (3)$$

где ΔE – изменение воздействия на окружающую среду (например, выбросы CO₂, водопользование) за период (конечное значение минус начальное значение).

E_0 – начальное воздействие на окружающую среду в начале периода.

ΔGRP – изменение валового регионального продукта за тот же период (конечный GRP минус начальный GRP).

GRP_0 – начальный GRP в начале периода.

Интерпретация:

$DI > 1$ – воздействие на окружающую среду растет быстрее, чем GRP – связь сохраняется.

$DI = 1$ – воздействие и GRP растут с одинаковой скоростью – нет расщепления.

$0 < DI < 1$ – относительное расщепление – воздействие растет, но медленнее, чем GRP.

$DI \leq 0$ – абсолютное расщепление – воздействие остается неизменным или снижается по мере роста GRP.

Методика трехкомпонентного интегрированного подхода к оцениванию социально-экономической устойчивости региона с учетом экологической составляющей представлена расчетной формулой следующего вида:

$$\Xi_y = \frac{\sum_{t=0}^I \sum_{i=1}^N (P_{it}^{ec} + P_{it}^{ek} + P_{it}^{soc})}{(1+d)^t} - \frac{\sum_{t=0}^I \sum_{i=1}^N (I_{it}^{ec} + I_{it}^{ek} + I_{it}^{soc})}{(1+d)^t} \quad (4)$$

где Ξ_y – приведенный доход в результате осуществления мероприятий по обеспечению социально-экономической устойчивости региона (руб. эффекта/руб. затрат);

P_{it}^{ec} – результат реализации мероприятия по компоненте экологической устойчивости в году 1, руб.;

P_{it}^{ek} – результат реализации мероприятий по компоненте экономической устойчивости в году 1, руб.;

P_{it}^{soc} – результат реализации мероприятий по компоненте социальной устойчивости в году 1, руб.;

I_{it}^{ec} – инвестиции (затраты) на реализацию мероприятий по компоненте экологической устойчивости в году 1, руб.;

I_{it}^{ek} – инвестиции (затраты) на реализацию мероприятий по компоненте экономической устойчивости в году 1, руб.;

I_{it}^{soc} – инвестиции (затраты) на реализацию мероприятий по компоненте социальной устойчивости в году 1, руб.;

d – норма дисконта.

Основные методические подходы к оценке экологической нагрузки можно условно классифицировать по четырем группам (табл. 1). Следует отметить, что представленные методические подходы имеют свои преимущества и недостатки. Однако в целом все они объективно отражают уровень экологической нагрузки в результате антропогенного воздействия на окружающую среду и могут полноценно использоваться в анализе эффекта декарпинга.

Таблица 1. Основные методические подходы к оценке эффекта декарпинга

Table 1. Main methodological approaches to assessing the decoupling effect

№	Сущность методики расчета Essence of the calculation method	Преимущества Advantages	Недостатки Flaws
1	Индексный подход (Decoupling Index) основан на расчете коэффициента декарпинга, который измеряет отношение темпов роста экологической нагрузки (например, выбросов CO₂) к темпам роста экономической активности (например, ВВП). Формула может выглядеть так: $DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0)$ Index approach (Decoupling Index) based on calculation of the decoupling coefficient, which measures the growth rate of the environmental load (e.g. CO₂ emissions) to the growth rate of economic activity (e.g. GDP). The formula may appear thus: $DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0)$	Простота расчета и интерпретации: значение. Универсальность: применим к различным странам и регионам. Доступность данных: базируется на стандартных статистических показателях (ВВП, выбросы) Ease of calculation and interpretation: value Universality: applicable to different countries and regions. Data availability: based on standard statistical indicators (GDP, emissions)	Упрощение: игнорирует качественные аспекты экономического роста (например, структурные изменения в экономике). Чувствительность к выбору базового года: результаты могут варьироваться в зависимости от начальной точки анализа. Не учитывает внешние факторы, такие как импорт ресурсов или перенос производства в другие страны Simplification: Ignores qualitative aspects of economic growth (e.g. structural changes in the economy). Sensitivity to the choice of base year: Results may vary depending on the starting point of the analysis. Does not take into account external factors such as imports of resources or the transfer of production to other countries

2	Эконометрические модели, такие как регрессионный анализ, используются для оценки зависимости между экономическими и экологическими переменными. Например, можно построить модель вида: $E = \beta_0 + \beta_1 * GDP + \beta_2 * X + \varepsilon$ где X — дополнительные факторы (технологии, политика и т.д.), а $\beta_{1,2}$ — коэффициенты, показывающие степень влияния Econometric models, such as regression analysis, are used to estimate the relationship between economic and environmental variables. For example, a model of the form: $E = \beta_0 + \beta_1 * GDP + \beta_2 * X + \varepsilon$ where X are additional factors (technology, policy, etc.), and $\beta_{1,2}$ are coefficients showing the degree of influence	Гибкость: позволяет учитывать множество факторов (технологический прогресс, государственные меры, демографию). Статистическая точность: дает возможность оценить значимость декарплинга с учетом ошибок Flexibility: allows for many factors to be taken into account (technological progress, government measures, demographics). Statistical accuracy: allows for the significance of decoupling to be assessed taking into account errors	Сложность: требует высокого уровня математической подготовки и качественных данных. Зависимость от данных: при их отсутствии или низком качестве результаты могут быть искажены. Предположения модели: линейность или стационарность данных могут не соответствовать реальности Complexity: requires a high level of mathematical training and high-quality data. Data dependence: if there is no data or if it is of poor quality, the results may be distorted. Model assumptions: the linearity or stationarity of the data may not correspond to reality
3	Анализ декомпозиции (Decomposition Analysis). Метод декомпозиции разлагает изменения в экологической нагрузке на составляющие: экономический рост, структурные изменения в экономике (например, переход к услугам) и технологические улучшения (энергоэффективность). Популярный подход — индекс Ласпейреса или метод Логистического среднего Дивизии (LMDI) Decomposition Analysis. The decomposition method breaks down changes in environmental load into components: economic growth, structural changes in the economy (e.g., transition to services), and technological improvements (energy efficiency). A popular approach is the Laspeyres index or the Logistic Mean Difference Index (LMDI)	Детализация: позволяет понять, какой фактор (рост, структура, технологии) вносит основной вклад в декарплинг. Практическая применимость: помогает разрабатывать целенаправленные экологические политики. Относительная независимость от базового года по сравнению с индексным подходом Detailing: allows the understanding of which factor (growth, structure, technology) makes the main contribution to decoupling. Practical applicability: helps to develop targeted environmental policies. Relative independence from the base year compared to the index approach	Сложность интерпретации: требует глубокого понимания структуры данных и экономики. Ограниченность данных: для точного анализа нужны подробные отраслевые показатели. Субъективность: выбор факторов декомпозиции может влиять на выводы Complexity of interpretation: requires a deep understanding of the data structure and economics. Limited data: detailed industry indicators are needed for accurate analysis. Subjectivity: the choice of decomposition factors can influence the conclusions
4	Системный анализ и моделирование. Системный анализ включает использование комплексных моделей (например, моделей общего равновесия или динамических систем), которые симулируют взаимодействие экономики, окружающей среды и общества. Пример — модель STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) Systems analysis and modeling. Systems analysis involves the use of complex models (e.g., general equilibrium or dynamic systems models) that simulate the interactions of the economy, environment, and society. An example is the STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) model	Комплексность: учитывает нелинейные связи и обратные эффекты между системами. Долгосрочный взгляд: подходит для оценки устойчивости декарплинга в будущем. Адаптивность: можно включать социальные, политические и климатические факторы Complexity: takes into account non-linear relationships and feedback effects between systems. Long-term view: suitable for assessing the sustainability of decoupling in the future. Adaptability: can include social, political and climatic factors	Высокая ресурсоемкость: требует больших вычислительных мощностей и экспертных знаний. Неопределенность: результаты зависят от множества предположений и сценариев. Ограниченная прозрачность: сложно объяснить неспециалистам High resource intensity: requires large computing power and expert knowledge. Uncertainty: results depend on many assumptions and scenarios. Limited transparency: difficult to explain to non-experts

Каждая из методик (табл. 1) имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор подходящего подхода зависит от целей исследования. Индексный подход идеален для быстрого сравнения стран или регионов, но слишком упрощает картину. Эконометрические модели и декомпозиция подходят для более глубокого анализа причин декарпинга, однако требуют качественных данных и аналитических навыков. Системный анализ незаменим для стратегического планирования, но его сложность ограничивает массовое применение.

Для повышения точности оценки эффекта декарпинга рекомендуется комбинировать методы. Например, использовать индексный подход для первичной оценки, а затем декомпозицию или системное моделирование для выявления причин и прогнозов. Такой интегрированный подход позволяет минимизировать недостатки отдельных методик и получить более полное представление о процессе декарпинга.

В условиях глобальных вызовов, таких как изменение климата и истощение ресурсов, развитие и совершенствование этих методик остается важной задачей для науки и политики. Только так можно обеспечить устойчивое развитие, где экономический прогресс не будет достигаться за счет окружающей среды.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование проводилось в два этапа: на первом этапе были собраны и проанализированы данные из статистических источников, описывающих динамику роста валового регионального продукта и выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду по федеральным округам, проведена оценка декарпинга. На

втором этапе дана оценка регрессионной модели по двум индикаторам – выбросу загрязняющих веществ и темпам роста валового регионального продукта.

Результаты статистического анализа показывают, что темп роста выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, в течение 2000–2023 гг. значительно варьировал по федеральным округам (табл. 2). Сравнение темпов выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников за почти четвертьвековой период (2000–2023 гг.) показывает разнонаправленную тенденцию.

В частности, Дальневосточный федеральный округ показал наибольший рост выбросов с 2000 по 2023 годы (соотношение 1,5148). Южный федеральный округ имеет максимальное значение темпов выброса загрязняющих веществ в 2023 году (1,2266), но при этом наблюдается наибольшее снижение данного показателя с 2000 года (соотношение 0,6955). Таким образом, в Южном федеральном округе границы вариации темпов выброса загрязняющих веществ включают данные от 0,8015 до 1,2266, что может указывать на нестабильность экономической динамики. Центральный федеральный округ демонстрирует стабильность с минимальными колебаниями темпов роста в диапазоне от 0,9620 до 1,0886, что указывает на меньшую волатильность экономической динамики.

Для лучшего восприятия тенденций с выбросом загрязняющих веществ в атмосферный воздух ниже представлена графическая визуализация статистики по федеральным округам (рис. 1).

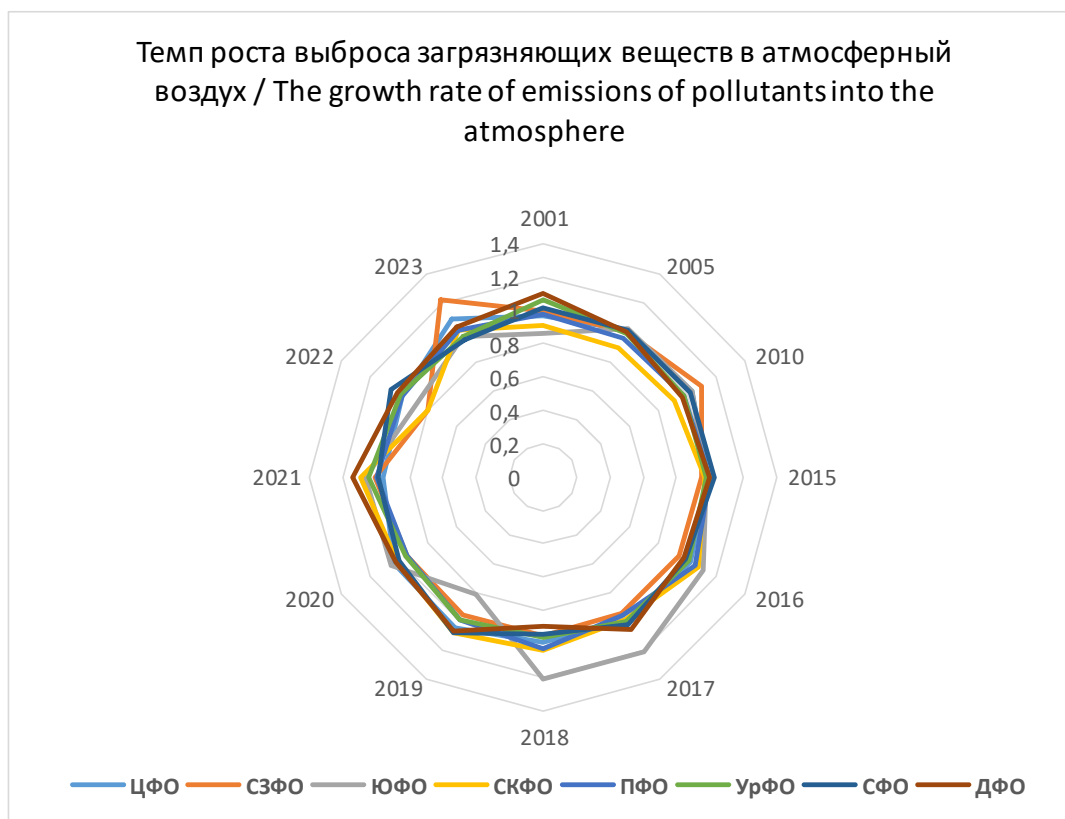


Рисунок 1. Темп роста выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников по федеральным округам с 2000 по 2023 гг.: ЦФО, СЗФО, ЮФО, СКФО, ПФО, УрФО, СФО, ДФО

Figure 1. Growth rate of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources in federal districts from 2000 to 2023: Central Federal District, Northwestern Federal District, Southern Federal District, North Caucasian Federal District, Volga Federal District, Ural Federal District, Siberian Federal District, Far Eastern Federal District

Как видно из лепестковой диаграммы (рис. 1) наибольший темп роста выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух с 2016 по 2018 гг. наблюдался в Южном федеральном округе. В 2023 году максимальный темп роста выбросов наблюдался в Дальневосточном федеральном округе.

Анализ статистических данных по сбросу загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (табл. 3) показывает, что ситуация с экологией в федеральных округах России значительно варьируется, с наибольшим ухудшением в Северо-Западном округе в 2023 году.

В течение 2000–2023 гг. снижение темпов сброса загрязненных сточных вод наблюдаются в РФ (0,9043), Северо-Западном (0,6955), Приволжском (0,7976), Уральском (0,7626) и Сибирском округах (0,9836). На этом временном отрезке произошло ухудшения экологической ситуации по данному показателю (соотношение больше 1) в Центральном (1,0545), Южном (1,0893), Северо-Кавказском (1,0350) и Дальневосточном округах (1,5148).

Обращает на себя внимание неожиданный аспект: несмотря на улучшение экологической ситуации в отдельных округах с 2000 года, в Северо-Западном

округе, темп сброса загрязненных сточных вод в 2023 году все еще оставался высоким (1,2266), что может указывать на сложные долгосрочные экологические вызовы.

Таким образом, анализ показывает, что Северо-Западный федеральный округ имеет наихудшую экологическую ситуацию в 2023 году, что делает его приоритетным регионом для срочной реализации комплекса экологических мер. Сибирский федеральный округ демонстрирует наилучшие показатели, что может быть связано с меньшей промышленной нагрузкой и более высокой эффективностью инвестиций в охрану окружающей среды. В этой связи следует отметить, что с 2000 по 2023 годы относительное улучшение экологической ситуации отмечается в РФ, Северо-Западном, Приволжском, Уральском и Сибирском округах, в то время как Центральный, Южный, Северо-Кавказский и Дальневосточный округа показали ухудшение экологической обстановки.

Графическая иллюстрация векторов разнонаправленной динамики (2000–2023 гг.) сброса загрязненных сточных вод в виде лепестковой диаграммы представлена на рисунке 2.

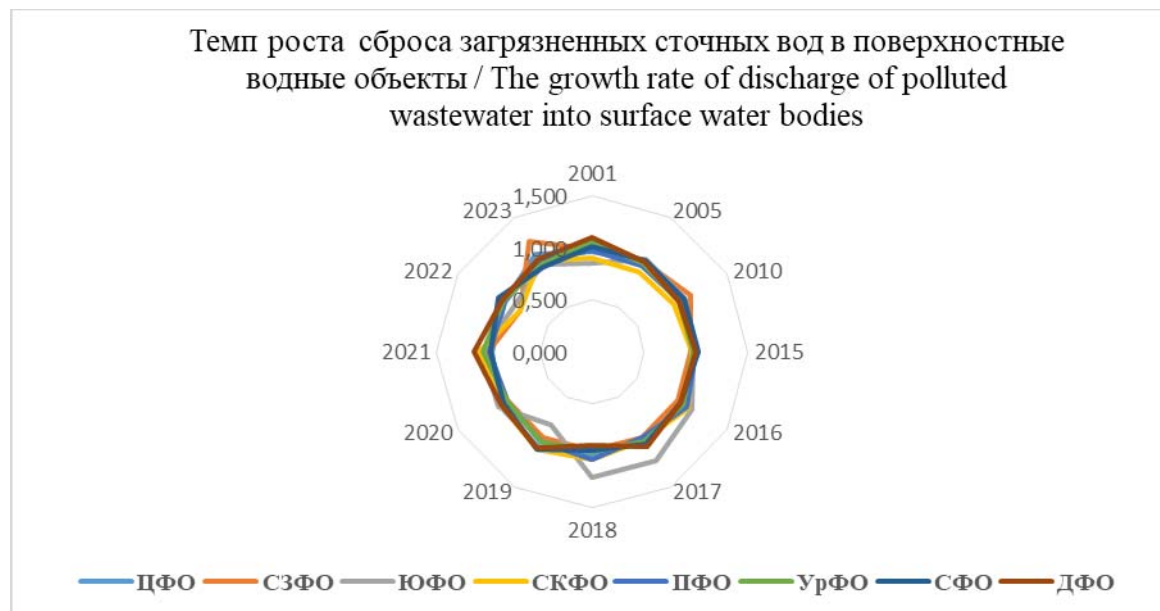


Рисунок 2. Темп сброса загрязненных *сточных вод* в поверхностные водные объекты по федеральным округам с 2000 по 2023 гг.: ЦФО, СЗФО, ЮФО, СКФО, ПФО, УрФО, СФО, ДФО

Figure 2. Rate of discharge of polluted wastewater into surface water bodies by federal districts from 2000 to 2023: Central Federal District, Northwestern Federal District, Southern Federal District, North Caucasian Federal District, Volga Federal District, Ural Federal District, Siberian Federal District, Far Eastern Federal District

Ситуация с темпом выброса загрязняющих сточных вод аналогична с динамикой выброса выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от

стационарных источников, что свидетельствует о достаточно сильной корреляции между данными индикаторами.

$$DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0) \quad (5)$$

В данном контексте индекс декаплинга (Decoupling Index) показывает на сколько процентов изменяется скорость роста или сокращения антропогенного воздействия на окружающую среду при изменении темпов роста ВРП на 1 % за определённый период времени.

Расчеты индекса декаплинга представлены в таблице 4.

В течение 2000–2023 гг. можно выделить два периода: с 2000–2015 гг. наблюдается снижение экологической нагрузки РФ и все ФО показывают снижение Decoupling index, а в течение второго периода 2020–2023 гг. значение Decoupling index в РФ выросло с 0,519 (2015 г.) до 0,907 (2023 г.).

Таблица 2. Темп роста выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников (%)
Table 2. Growth rate of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources (%)

	2001	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 к 2000
РФ RF	1,0160	0,9951	1,0053	0,9886	1,0000	1,0116	0,9771	1,0117	0,9827	1,0118	1,0000	0,9884	0,9043
ЦФО Central Federal District	0,9668	1,0122	1,0260	0,9858	1,0183	0,9917	0,9890	1,0484	1,0331	0,9620	0,9711	1,0886	1,0545
СФО Siberian Federal District	0,9940	1,0027	1,0979	0,9461	0,9449	0,9461	0,9540	0,9568	0,9428	1,0024	0,8015	1,2266	0,6955
ЮФО Southern Federal District	0,8579	1,0249	1,0302	0,9740	1,1114	1,2152	1,2068	0,8067	1,0508	1,0667	0,8780	0,9667	1,0893
СКФО North Caucasian Federal District	0,9091	0,8937	0,9079	0,9655	1,0714	0,9867	1,0338	1,0784	1,0121	1,0898	0,8022	1,0137	1,0350
ПФО Volga Federal District	0,9768	0,9624	0,9790	0,9934	1,0544	0,9593	1,0293	0,9933	0,9470	0,9971	0,9747	1,0121	0,7976
УрФО Ural Federal District	1,0662	0,9896	0,9702	0,9767	1,0076	1,0008	0,9615	0,9900	0,9475	1,0494	0,9884	0,9685	0,7626
СФО Siberian Federal District	1,0099	1,0191	1,0159	1,0225	0,9866	1,0239	0,9458	1,0795	0,9929	0,9855	1,0533	0,9495	0,9836
ДФО Far Federal District	1,1020	1,0018	0,9622	0,9982	0,9731	1,0571	0,8945	1,0712	1,0191	1,1384	1,0031	1,0375	1,5148

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 3. Темп сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты
Table 3. Rate of discharge of polluted wastewater into surface water bodies

	2001	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023/2000
РФ RF	1,016	0,995	1,005	0,989	1,000	1,012	0,977	1,012	0,983	1,012	1,000	0,988	0,534
ЦФО Central Federal District	0,967	1,012	1,026	0,986	1,018	0,992	0,989	1,048	1,033	0,962	0,971	1,089	0,577
СФО Siberian Federal District	0,994	1,003	1,098	0,946	0,945	0,946	0,954	0,957	0,943	1,002	0,802	1,227	0,590
ЮФО Southern Federal District	0,858	1,025	1,030	0,974	1,111	1,215	1,207	0,807	1,051	1,067	0,878	0,967	0,344
СКФО North Caucasian Federal District	0,909	0,894	0,908	0,966	1,071	0,987	1,034	1,078	1,012	1,090	0,802	1,014	0,548
ПФО Volga Federal District	0,977	0,962	0,979	0,993	1,054	0,959	1,029	0,993	0,947	0,997	0,975	1,012	0,457
УрФО Ural Federal District	1,066	0,990	0,970	0,977	1,008	1,001	0,962	0,990	0,948	1,049	0,988	0,969	0,530
СФО Siberian Federal District	1,010	1,019	1,016	1,023	0,987	1,024	0,946	1,080	0,993	0,986	1,053	0,950	0,505
ДФО Far Federal District	1,102	1,002	0,962	0,998	0,973	1,057	0,895	1,071	1,019	1,138	1,003	1,038	0,251

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 4. Индекс декаплинга выброса загрязняющих веществ в *атмосферный воздух*, отходящих от стационарных источников**Table 4.** Decoupling index of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,676	0,815	0,425	0,448	0,519	0,684	0,782	0,869	0,907
ЦФО Central Federal District	0,613	0,794	0,346	0,505	0,561	0,717	0,790	0,853	0,997
СЗФО Northwestern Federal District	0,603	0,811	0,383	0,484	0,491	0,516	0,646	0,706	1,124
ЮФО Southern Federal District	0,730	0,785	0,358	0,421	0,524	0,944	0,890	0,727	0,881
СКФО North Caucasian Federal District	0,696	0,666	0,580	0,294	0,529	0,862	0,951	0,699	0,959
ПФО Volga Federal District	0,683	0,783	0,496	0,401	0,547	0,722	0,793	0,850	0,934
УФО Ural Federal District	0,673	0,824	0,469	0,490	0,421	0,708	0,722	0,833	0,899
СФО Siberian Federal District	0,702	0,824	0,428	0,473	0,583	0,723	0,779	0,921	0,869
ДФО Far Eastern Federal District	0,764	0,863	0,437	0,484	0,623	0,671	0,905	0,880	0,941

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Для расчета Decoupling Factor используется следующая формула расчета: Decoupling Factor = 1 – Decoupling Index (6)

Результаты вычисления Decoupling Factor можно интерпретировать следующим образом: если Decoupling Factor > 0 и с течением времени этот показатель увеличивается — наблюдается эффект декаплинга, что означает уменьшение антропогенного воздействия на окружающую среду или более эффективное использование природных ресурсов при росте ВРП; если Decoupling Factor < 0 и со временем продолжает снижаться — экономический рост сопровождается значительным усилением антропогенного давления или истощением природных ресурсов; если Decoupling Factor = 0 — это указывает на одинаковые темпы роста экономики и антропогенного воздействия или потребления природных ресурсов.

Анализ статистических данных из таблицы 4 «Декapлинг-фактор выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в Российской Федерации (РФ) и ее федеральных округах за период с 2000 по 2023 годы» позволяет сделать следующие выводы: значение декаплинг-фактора в целом по РФ снижается с 0,324 (2000 г.) до 0,093 (2023 г.), что говорит о растущем согласовании экономического роста с выбросами загрязняющих

веществ в атмосферный воздух от стационарных источников; наиболее заметное ухудшение экологической составляющей роста экономики по предварительным данным отмечается в СЗФО (–0,124 в 2023 г.) и ЦФО (0,003 в 2023 г.); по СКФО отмечается снижение значения декаплинг-фактора с максимального уровня (0,706 в 2010 г.) до почти нулевого (0,041 в 2023).

Проведем анализ статистических данных индекса декаплинга сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты Российской Федерации (РФ) и ее федеральных округов (ФО) за период с 2000 по 2023 годы. Как видно из представленных статистических данных таблицы 5 наблюдается положительная динамика в РФ и большинство ФО: начиная с 2015 года показатель индекс декаплинга по РФ вырос с 0,501 до 0,877, особенно заметный рост данного показателя зафиксирован на временном отрезке 2021–2023 гг., что указывает на снижение корреляции между сбросом загрязняющих сточных вод с ВРП.

В этой связи следует отметить и негативную тенденцию: резкое снижение данного показателя в 2005 г. для большинства регионов (РФ – 0,381, ДФО – 0,166), когда рост сброса загрязняющих сточных вод опережал ВВП, возможно, из-за посткризисного подъема промышленности.

Таблица 5. Декаплинг – фактор выброса загрязняющих веществ в *атмосферный воздух*, отходящих от стационарных источников**Table 5.** Decoupling – factor of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,324	0,185	0,575	0,552	0,481	0,316	0,218	0,131	0,093
ЦФО Central Federal District	0,387	0,206	0,654	0,495	0,439	0,283	0,210	0,147	0,003
СЗФО Northwestern Federal District	0,397	0,189	0,617	0,516	0,509	0,484	0,354	0,294	-0,124
ЮФО Southern Federal District	0,270	0,215	0,642	0,579	0,476	0,056	0,110	0,273	0,119
СКФО North Caucasian Federal District	0,304	0,334	0,420	0,706	0,471	0,138	0,049	0,301	0,041
ПФО Volga Federal District	0,317	0,217	0,504	0,599	0,453	0,278	0,207	0,150	0,066
УФО Ural Federal District	0,327	0,176	0,531	0,510	0,579	0,292	0,278	0,167	0,101
СФО Siberian Federal District	0,298	0,176	0,572	0,527	0,417	0,277	0,221	0,079	0,131
ДФО Far Eastern Federal District	0,236	0,137	0,563	0,516	0,377	0,329	0,095	0,120	0,059

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 6. Индекс декаплинга сброса загрязненных *сточных вод* в поверхностные водные объекты**Table 6.** Decoupling index of discharge of polluted wastewater into surface water bodies

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,655	0,782	0,381	0,417	0,501	0,569	0,761	0,848	0,877
ЦФО Central Federal District	0,669	0,812	0,341	0,392	0,509	0,583	0,830	0,820	0,936
СЗФО Northwestern Federal District	0,700	0,791	0,369	0,434	0,467	0,568	0,628	0,849	0,921
ЮФО Southern Federal District	0,814	0,746	0,520	0,300	0,455	0,519	0,967	0,927	0,427
СКФО North Caucasian Federal District	0,771	0,672	0,356	0,689	0,212	0,805	0,775	0,857	0,938
ПФО Volga Federal District	0,696	0,758	0,430	0,417	0,495	0,573	0,775	0,845	0,883
УФО Ural Federal District	0,566	0,764	0,370	0,628	0,606	0,437	0,638	0,812	0,872
СФО Siberian Federal District	0,671	0,814	0,405	0,389	0,464	0,638	0,759	0,846	0,922
ДФО Far Eastern Federal District	0,685	0,789	0,166	0,390	0,471	0,646	0,756	0,882	0,916

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 7. Декаплинг – фактор сброса загрязненных *сточных вод* в поверхностные водные объекты
Table 7. Decoupling – factor of discharge of polluted wastewater into surface water bodies

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,345	0,218	0,619	0,583	0,499	0,431	0,239	0,152	0,123
ЦФО Central Federal District	0,331	0,188	0,659	0,608	0,491	0,417	0,170	0,180	0,064
СЗФО Northwestern Federal District	0,300	0,209	0,631	0,566	0,533	0,432	0,372	0,151	0,079
ЮФО Southern Federal District	0,186	0,254	0,480	0,700	0,545	0,481	0,033	0,073	0,573
СКФО North Caucasian Federal District	0,229	0,328	0,644	0,311	0,788	0,195	0,225	0,143	0,062
ПФО Volga Federal District	0,304	0,242	0,570	0,583	0,505	0,427	0,225	0,155	0,117
УФО Ural Federal District	0,434	0,236	0,630	0,372	0,394	0,563	0,362	0,188	0,128
СФО Siberian Federal District	0,329	0,186	0,595	0,611	0,536	0,362	0,241	0,154	0,078
ДФО Far Eastern Federal District	0,315	0,211	0,834	0,610	0,529	0,354	0,244	0,118	0,084

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Как известно, декаплинг-фактор отражает степень разрыва связи (уровень корреляции) между экономической активностью и загрязнением окружающей среды, т.е. снижение показателя указывает на относительный рост загрязнения по сравнению с экономическим ростом и ухудшение экологической ситуации (табл. 6).

Необходимо отметить долгосрочное снижение декаплинг-фактора в РФ с 2005 года, особенно заметное в последние три года, что указывает на рассогласованность экологической ситуации относительно экономической активности (табл. 6). Резкое снижение происходит в 2021–2023 годах, что может быть связано с нарастанием промышленной активности и снижением расходов на экологические мероприятия.

При этом на общем фоне федеральных округов ЮФО выделяется аномальным ростом декаплинг-фактора в 2023 году (0,573) после минимума в 2021 году (0,033), что может быть связано с локальными факторами (нарастанием темпов сброса загрязнённых сточных вод и изменением отраслевой структуры экономики).

Ухудшение экологической ситуации к 2023 г. наблюдается практически во всех федеральных округах, включая в порядке убывания значения декаплинг-фактора – СКФО (0,062), ЦФО (0,064), СФО (0,078), СЗФО (0,079), ДФО (0,084).

Для более полной оценки взаимосвязей экологической составляющей экономического роста необходимо использование методов эконометрической

интерпретации данного процесса: построение экологической кривой Кузнецца.

Экологическая кривая Кузнецца (Environmental Kuznets Curve, ЕКС) представляет собой гипотезу, согласно которой взаимосвязь между экономическим развитием и деградацией окружающей среды имеет форму перевернутой U-образной кривой. Согласно ЕКС, на ранних стадиях экономического роста (увеличение ВВП на душу населения) уровень загрязнения окружающей среды растёт, достигает пика, а затем снижается по мере роста доходов, технологического прогресса и изменения общественных приоритетов.

ЕКС предполагает, что экологическая деградация зависит от трех ключевых факторов: масштаба экономики, структуры производства и уровня технологий. На начальном этапе индустриализации (низкий ВВП на душу населения) экономический рост опирается на расширение производства и добычу ресурсов, что увеличивает выбросы загрязняющих веществ и потребление природных ресурсов. По мере роста доходов (средний уровень ВВП) структура экономики смещается от тяжелой промышленности к услугам и высокотехнологичным секторам, а общества начинают требовать более строгих экологических стандартов. На высоком уровне доходов (развитые экономики) внедрение чистых технологий и регуляторных мер приводит к снижению экологической нагрузки, даже если экономика продолжает расти.

Математически ЕКС часто моделируется как квадратичная функция:

$$E = \alpha + \beta Y + cY^2 \quad (6)$$

где (E) – уровень загрязнения, (Y) – ВВП на душу населения, (α , β , c) – коэффициенты, причем $c < 0$, что обеспечивает перевернутую U-образную форму. Точка

перегиба ($Y^2 = -\beta/2c$) указывает уровень дохода, при котором загрязнение достигает максимума.

ВЫВОДЫ

Экологическая кривая Кузнеца остается полезным инструментом для анализа взаимодействия экономики и экологии, но ее применимость варьируется. Данные о декаплинге показывают прогресс в рассогласовании темпов роста экономики ЮФО (табл. 6) от ускорения

сброса загрязнённых сточных вод. Однако выбросы в атмосферу и сброс загрязнённых сточных вод для СКФО демонстрируют синхронизацию с экономикой (табл. 6), что противоречит классической ЕКС на текущем этапе развития.

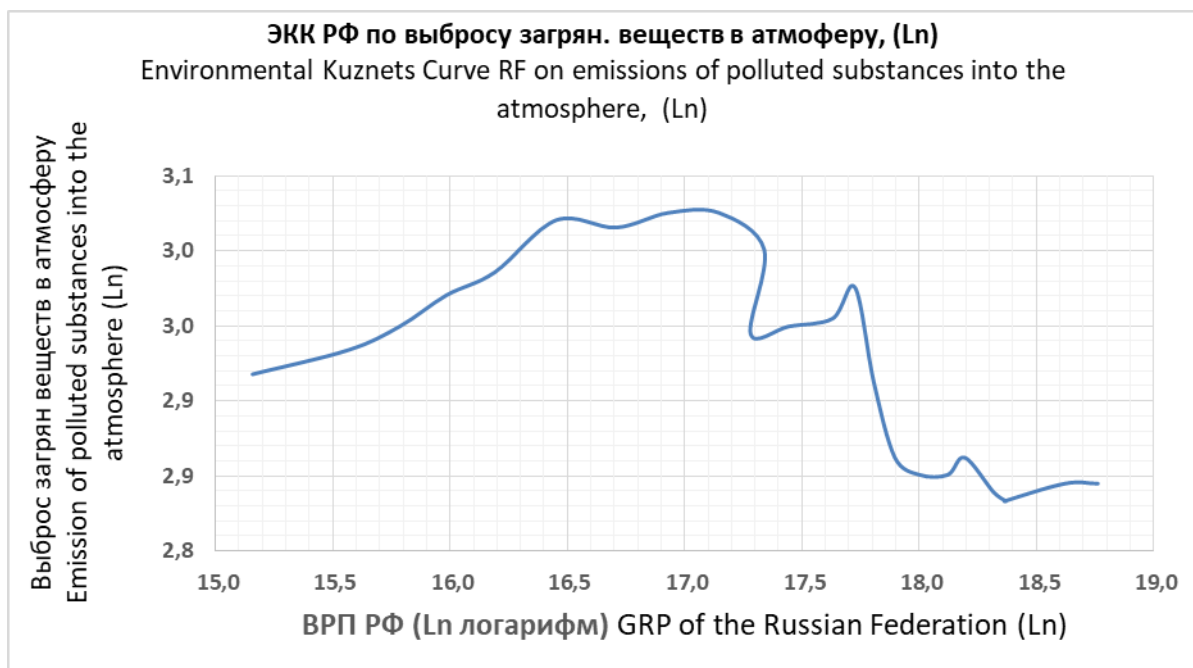


Рисунок 3. Экологическая кривая Кузнеца (ЭКК) РФ по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух, (Ln)

Figure 3. Ecological Kuznets curve (EKC) of the Russian Federation for the emission of pollutants into the ambient air, (Ln)

График ЭКК для РФ на рисунке демонстрирует перевернутую U-образную зависимость между Ln GDP и Ln выброса загрязняющих веществ в атмосферу, подтверждая теоретическую модель на макроуровне.

Однако точка перегиба ниже, чем в развитых экономиках, а нисходящий участок менее выражен из-за сохраняющегося роста выбросов (хоть и замедленного).

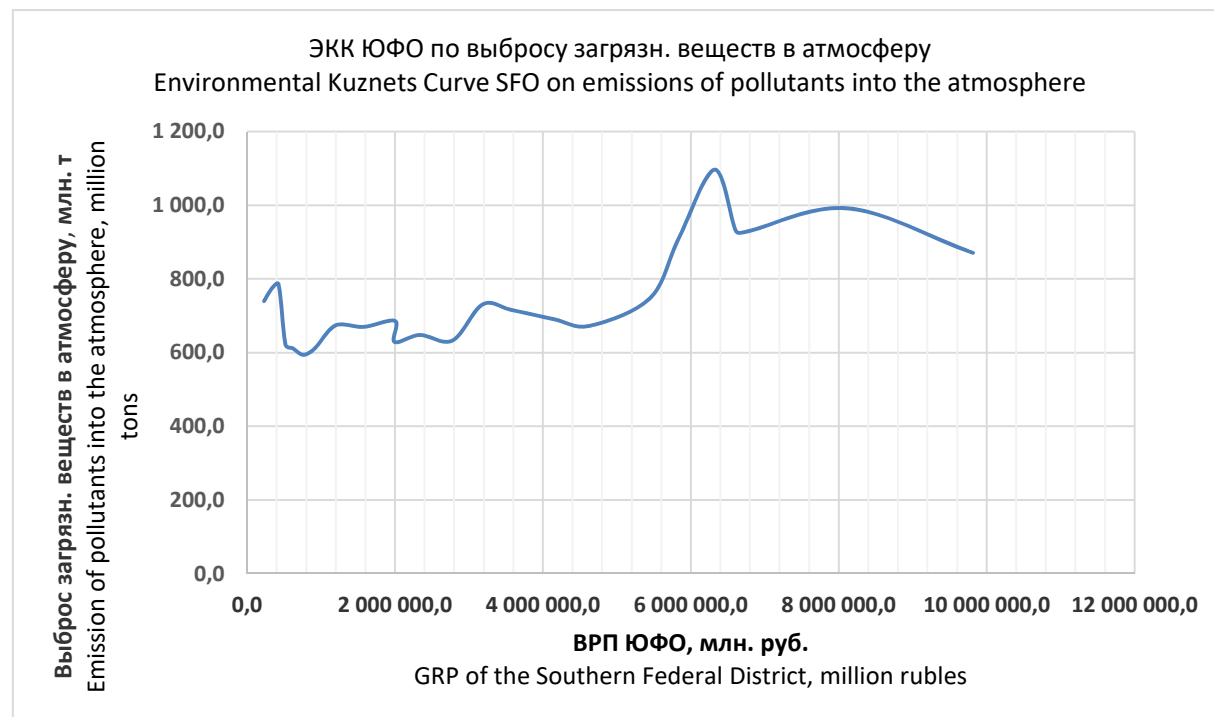


Рисунок 4. Экологическая кривая Кузнеца (ЭКК) ЮФО по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух

Figure 4. Ecological Kuznets curve (EKC) of the Southern Federal District of the emission of pollutants into the surrounding air

На рисунке ЭКК ЮФО наблюдаются точки перегиба. Под точкой перегиба ЭКК ЮФО понимается максимум кривой, где выбросы достигают пика, после чего начинают снижаться с ростом ВРП.

Форма экологической кривой Кузнеця по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух ЮФО не показывает четкой U-образной формы, а скорее выделяет два цикла роста и снижения выбросов. Первый пик в 2001 году (785.0 тыс. т) отражает раннюю стадию роста экономики ЮФО.

На первом пике в 2001 году выбросы загрязняющих веществ в атмосферу достигли 785.0 тыс. т при ВРП 426,507.8 млн руб. (ВРП на душу ~25.8 тыс. руб.). После этого выбросы снизились до

622.0 в 2002 году. Однако это снижение оказалось неустойчивым, так как выбросы снова стали увеличиваться в 2005–2006 годах.

Вторая точка перегиба приходится на 2018 год (1,097.0 тыс. т) – более зрелую фазу, когда рост ВРП (туризм, сельское хозяйство) сопровождался временным всплеском выбросов.

Второй пик (2018): максимум выбросов 1,097.0 тыс. т при ВРП 6,320,333.0 млн руб. (ВРП на душу ~383.1 тыс. руб.). После 2018 года выбросы устойчиво снижались до 871.0 тыс. т в 2022 году, что лучше соответствует классической ЭКК. Второй пик более значим, так как снижение выбросов после него устойчиво, что ближе к классической ЭКК.

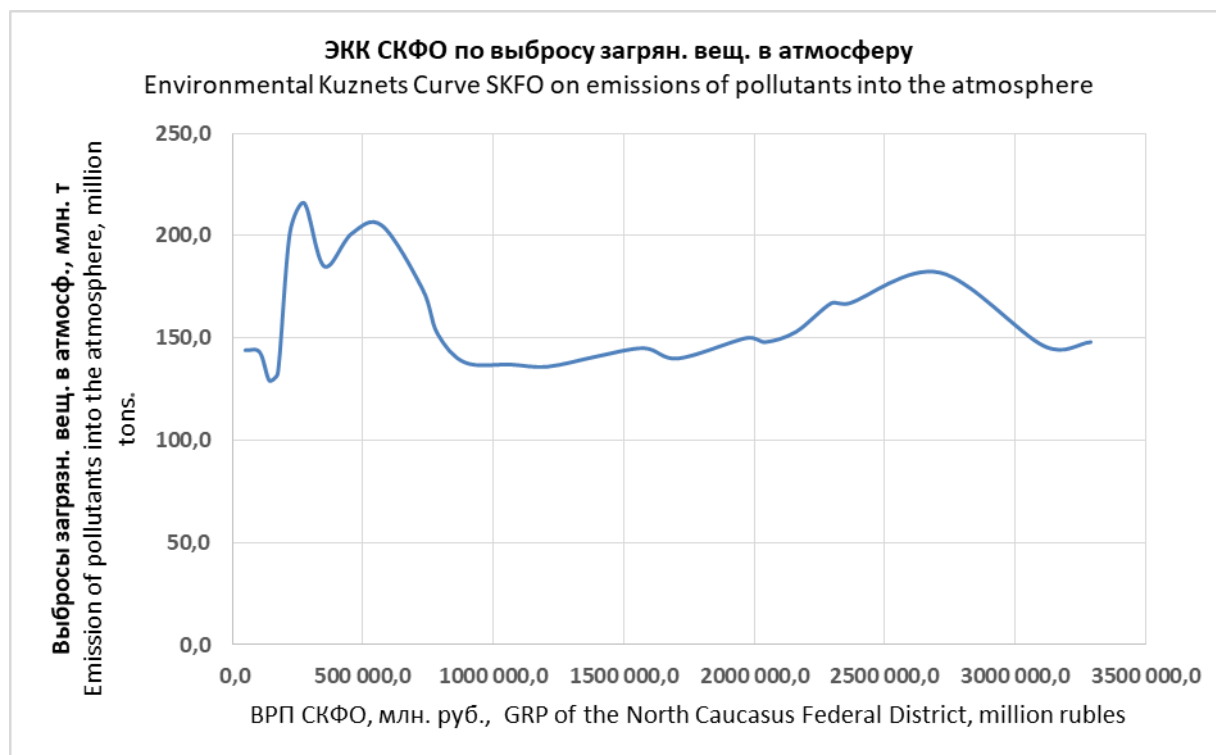


Рисунок 5. Экологическая кривая Кузнеця (ЭКК) СКФО по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух, млн т.

Figure 5. Ecological Kuznets curve (EKC) of the North Caucasus Federal District of emissions of pollutants into the surrounding air, million tons

Анализ экологической кривой Кузнеця (ЭКК) для Северо-Кавказского федерального округа (СКФО) демонстрирует нелинейную динамику взаимосвязи его валового регионального продукта (ВРП) и выбросов загрязняющих веществ: двухволновую динамику вместо единой перевернутой U-образной кривой.

Выделяются две основные точки перегиба. Первый пик приходится на 2004–2005 гг., когда максимальное значение выбросов в 2004 году достигло 216 млн т при ВРП в 275,6 млрд руб., после чего началось снижение до 136 млн т к 2012 году (ВРП 1 209 млрд руб.). Отмеченная динамика соответствует классической ЭКК: экономический рост сопровождался сокращением загрязнения,

Вторая точка перегиба находится на временном отрезке 2012–2021 гг., когда, начиная с 2012 года выбросы достигли 182 млн т в 2021 году при соответствующем значении ВРП 2710 млрд руб. Сложная двухволновая траектория ЭКК СКФО с двумя точками перегиба (2004–2005 и 2021–2023) противо-

речит классической модели ЭКК. Возможными причинами такой деривации являются активизация добывающих отраслей и пространственная автокорреляция загрязнений, характерная для российских регионов. Повторный рост загрязнений после 2012 года подчеркивает важность учета отраслевых и пространственных факторов при анализе экологической политики в российских регионах. Поэтому для обеспечения устойчивого развития экономики требуется усиление мер по снижению выбросов в периоды экономического роста.

В современных исследованиях взаимосвязи экологии и экономического роста ключевое внимание уделяется регрессионным моделям, которые позволяют количественно оценить влияние экономических показателей на экологическую ситуацию. Анализ российских данных за последние два десятилетия выявил сложные зависимости, требующие дифференцированного подхода.

Для оценки взаимосвязи между экологическими показателями и экономическим ростом применяют комбинацию методов регрессионного анализа, учитывающих пространственные, временные и структурные особенности данных. Ниже представлены наиболее эффективные подходы, подтвержденные исследованиями: **метод** наименьших квадратов (OLS),

панельная регрессия, пространственные методы, динамические модели, специализированные подходы.

Для целей нашего исследования использован метод наименьших квадратов (OLS метод). Уравнение линейной регрессии по OLS имеет следующий вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (7)$$

где Y — экологический показатель (например, уровень загрязнения), X_i — экономические факторы (ВВП, инвестиции).

В данном исследовании используется метод наименьших квадратов (OLS). Применительно к РФ

уравнение регрессии по выбросу загрязняющих веществ в атмосферу с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 3,658 - 0,048X_1 - 0,014X_2 + \varepsilon \quad (8)$$

где Y — выброс загрязняющих веществ атмосферный воздух (Ln);

X_1 — ВРП РФ (Ln);

X_2 — Инвестиции в основе капитал по очистке выбросов загрязняющих веществ атмосферный воздух (Ln).

Оценка регрессионной модели (8) показывает умеренно сильную линейную зависимость (множественный $R = 0.734$); объяснённая вариация: $R^2 = 0.539$ означает, что 53.9 % изменчивости выбросов

объясняется включёнными переменными; стандартная ошибка: 0.0504 свидетельствует о средней точности прогнозов (± 5.04 % от масштаба данных); модель в целом значима: статистическая значимость ($F=11.68$, $p=0.000435$).

Для РФ уравнение регрессии по сбросу загрязнённых сточных вод с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 13,615 + 0,223X_1 - 0,363X_2 + \varepsilon \quad (9)$$

где Y — выброс загрязняющих веществ атмосферный воздух РФ (Ln);

X_1 — ВРП РФ (Ln);

X_2 — Инвестиции в осн. капитал по очистке загрязнённых сточных вод Ln РФ (Ln).

Представленные результаты анализа регрессионной модели (9) демонстрируют высокое качество модели, но требуют проверки на соответствие ключевым статистическим допущениям: предикторы статистически значимы ($p < 0.05$); увеличение X_1 (роста экономики РФ) на 1 единицу генерирует рост целевой переменной на 0.2232 (при прочих равных); увеличение

X_2 (инвестиций в очистку сброса сточных вод) на 1 единицу — снижение целевой переменной (выброса загрязняющих сточных вод) на 0.3632; стандартные ошибки коэффициентов небольшие (0.0826 и 0.0675); знаки коэффициентов логичны (положительный для X_1 , отрицательный для X_2). В целом представленная регрессионная модель демонстрирует отличное качество по ключевым метрикам: высокий R^2 (92.14 %) при значимых коэффициентах, сильная прогностическая способность ($F=117.26$). ЮФО уравнение регрессии по сбросу загрязнённых сточных вод с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 9,646 - 0,254X_1 + 0,126X_2 + \varepsilon \quad (10)$$

где Y — сброс загрязнённых сточных вод, млн. куб. м ЮФО (Ln);

X_1 — ВРП ЮФО (Ln);

X_2 — инвестиции в основной капитал по очистке загрязнённых сточных вод ЮФО (Ln).

Представленные результаты (10) оценки параметров регрессионной модели указывают на ее удовлетворительное качество с потенциалом дальнейшего улучшения: коэффициент X_1 (ВРП ЮФО) статистически значим ($p < 0.05$) и при увеличении X_1 на 1 единицу происходит снижение целевой переменной (Y — сброса загрязнённых сточных вод) на 0.2538, X_2

(инвестиции в основной капитал по очистке загрязнённых сточных вод) незначим ($p = 0.324 > 0.05$). Необходимо отметить сильные стороны регрессионной модели: значимая F-статистика, X_1 имеет ожидаемый знак и статистическую значимость. В целом регрессионная модель демонстрирует хорошую объясняющую способность ($R^2 = 78.5\%$), но требует доработки.

Уравнение регрессии ЮФО по выбросу загрязняющих веществ в атмосферу с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 5,337 - 0,048X_1 + 0,252X_2 + \varepsilon \quad (11)$$

где Y — выбросу загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. т ЮФО (Ln);

X_1 — ВРП ЮФО (Ln);

X_2 — инвестиции в основной капитал по очистке выброса загрязняющих веществ в атмосферу ЮФО (Ln).

Представленные результаты (11) указывают на среднее качество модели с ограниченной объяснительной силой: параметр X_1 статистически незначим ($p = 0,395 > 0.05$); X_2 близок к значимости ($p = 0.067$), но не достигает порога 0.05; значение $R^2 = 0.47$, т.е. модель объясняет менее половины дисперсии. Необходимо отметить статистическую значимость модели в целом

$$Y = 5,378 - 0,184X_1 + 0,216X_2 + \varepsilon \quad (12)$$

где Y – выбросу загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. т СКФО ($\ln$);

X_1 – ВРП СКФО ($\ln$);

X_2 – инвестиции в основной капитал по очистке выброса загрязняющих веществ в атмосферу СКФО ($\ln$).

Качество регрессионной модели не позволяет использовать ее для прогнозирования, т.к. предикторы незначимы ($p > 0.05$); доверительные интервалы

$$Y = 9,732 - 0,008X_1 - 0,162X_2 + \varepsilon \quad (13)$$

где Y – сброс загрязненных сточных вод, млн. куб. м СКФО ($\ln$);

X_1 – ВРП СКФО ($\ln$);

X_2 – инвестиции в основной капитал по очистке загрязнённых сточных вод СКФО ($\ln$).

Представленные результаты указывают на высокое качество модели, но с некоторыми ограничениями, т.к. X_2 статистически значим ($p = 0.003 < 0.05$), его увеличение 1 единицу приводит снижению целевой переменной на 0.1621, но при этом X_1 статистически незначим ($p = 0.841 > 0.05$). В целом представленная регрессионная модель демонстрирует высокую объяснительную силу ($R^2 = 88.1\%$), высокое значение R^2 и значимая F-статистика, значимый коэффициент X_2 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрена проблема имманентной взаимосвязи экономического развития российских регионов с динамикой выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, связанная с рисками безопасности и устойчивого развития.

Сравнение темпов выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников за почти четвертьвековой период (2000–2023 гг.) показывает разнонаправленную динамику: с 2016 по 2018 гг. его рост отмечается в Южном федеральном округе, а в 2023 году максимальный темп роста выбросов наблюдался в Дальневосточном федеральном округе. Анализ статистических данных по сбросу загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (табл. 3) показывает, что ситуация с экологией в федеральных округах России значительно варьируется.

В этой связи следует отметить, что с 2000 по 2023 годы относительное улучшение экологической ситуации отмечается в целом по РФ, Северо-Западном, Приволжском, Уральском и Сибирском округах, в то время как Центральный, Южный, Северо-Кавказский и Дальневосточный округа показали усиление антропогенного воздействия на окружающую среду.

На основе методики оценки эффекта декарпинга, представлена его оценка по федеральным

($F=8.88$, $p=0.0017$); X_2 демонстрирует тенденцию к значимости ($p=0.067$), но в целом регрессионная модель обладает ограниченной прогностической силой.

Уравнение регрессии СКФО по выбросу загрязняющих веществ в атмосферу с использованием логарифмированных значений ($\ln$) имеет следующий вид:

коэффициентов включают ноль; Y -пересечение значимо, но это не имеет смысловой нагрузки без значимых предикторов; F-статистика (1.537) с $p=0.239$ свидетельствует о том, что модель не объясняет зависимую переменную лучше, чем простое среднее значение. С нашей точки зрения, полученные результаты могут свидетельствовать о нарушении и разбалансировке порядка системных природоохранных мероприятий в СКФО.

округам РФ с 1999 по 2023 гг., выраженная в табличной и графической форме.

С нашей точки зрения наблюдаемое в 2021–2023 годах снижение декарпинг-фактора в РФ указывает на рассогласованность динамики выброса загрязняющих веществ и роста ВРП (табл. 6), т.е. свидетельствует о разрыве между темпами промышленной активности и динамикой загрязнения окружающей среды.

Приемлемость экологической кривой Кузнеца (ЕКК) для экономики Российской Федерации была проверена на данных за период 1999–2022 гг. Результаты исследования указывают на тот факт, что даже при наличии экологической кривой Кузнеца (ЭКК) для выбросов основных загрязняющих веществ от стационарных источников, экономический рост российских регионов не гарантирует устойчивого снижения антропогенной нагрузки на экосистемы в долгосрочной перспективе.

Возможными причинами такого состояния могут быть сырьевая модель экономики РФ и существующие институциональные пробелы. Отмеченные факторы объясняют, почему ЭКК России отклоняется от классической формы ЭКК: вместо снижения загрязнений по мере роста ВВП наблюдается цикличность выбросов, связанная с колебаниями сырьевого сектора и недостаточной экологической политикой. Для достижения устойчивого развития необходима глубокая структурная перестройка экономики и усиление институтов, ответственных за экологизацию производства.

Представленный регрессионный анализ взаимосвязи экономического роста с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух и сбросом загрязняющих сточных вод указывает на низкий уровень корреляции результирующего фактора с влияющими переменными.

Проведенное исследование взаимосвязи отдельных параметров загрязнения окружающей среды с экономическим ростом позволяет выявить пути дальнейшего снижения экологической нагрузки через адаптированную инвестиционную и структурную политику, нацеленную на снижение антропогенного воздействия.

Полученные результаты статистической оценки взаимовлияния антропогенного воздействия на окружающую среду могут применяться в процессе корректировки параметров эколого-экономического вектора стратегии обеспечения устойчиво-сбалансированного роста в Северо-Кавказском макрорегионе и разработки отраслевых стратегий в рамках общей парадигмы устойчивого развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Meeta J., Mukesh Kumar M. [The Economics of Environment and Ecology for Sustainable Development]. *ZBW – Leibniz Information Centre for Economics*, Kiel, Hamburg, 2020. URL: <https://hdl.handle.net/10419/227598> (дата обращения: 22.03.2024)
2. Vadéna T., Lähdeä V., Majavaa A., Järvensivua P., Toivanena T., Hakalaa E., Eronena J.T. Decoupling for ecological sustainability: A categorisation and review of research literature *Environ Sci Policy // Environmental Science & Policy*. 2020. V. 112. P. 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.016>
3. Garrett R.D., Ryschawy J., Bell L.W., Cortner O., Ferreira J., Garik A.V.N., Gil J.D.B., Klerkx L., Moraine M., Peterson C.A., dos Reis J.C., Valentim J.F. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales // *Ecology and Society*. 2020. V. 25(1). Article id: 24. <https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124>
4. Yu Q., He Q., Anthony M.A., et al. Uncoupled responses of plants and soil biota to global change in the world's terrestrial ecosystems // *Nat Commun*. 2024. V. 15. Article id: 10369. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54304-z>
5. Payne A.R.D., Mannion Ph.D., Lloyd G.T., Daviset K.E. et al. Breaking the speciation-extinction link shows that both abiotic and biotic factors shaped 250 million years of diversity in crocodile-line archosaurs // *Nat Ecol Evol*. 2024. V. 8. P. 121–132. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02244-0>
6. Avidad P.M. Trait-Based Niche Shifts in Birds Over Four Decades of Global Change // Thesis: Master of Biodiversity and Conservation Biology. 2024. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35209.04968>
7. de Freitas L.C., Kaneko S. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil // *Ecological Economics*. 2011. V. 70. P. 1459–1469. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.011>
8. Sener S., Saridoğan E. The effects of science-technology-innovation on competitiveness and economic growth // *Procedia-Soc. Behav. Sci.* 2011. V. 24. P. 815–828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.127>
9. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure and Economic Growth. OECD, Paris. 2002. URL: https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/idsd/pdf/decoupling_environment_&_economy.pdf (дата обращения: 28.05.2024)
10. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2024. 1081 с.
11. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2023. 1126 с.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.
13. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2021. 1112 с.
14. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2014: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2014. 900 с.
15. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2010: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2010. 996 с.
16. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2002: Р32 Стат. сб. / Госкомстат России. М., 2002. 863 с.

REFERENCES

1. Meeta J., Mukesh Kumar M. [The Economics of Environment and Ecology for Sustainable Development]. *ZBW – Leibniz Information Centre for Economics*, Kiel, Hamburg, 2020. Available at: <https://hdl.handle.net/10419/227598> (accessed 22.03.2024)
2. Vadéna T., Lähdeä V., Majavaa A., Järvensivua P., Toivanena T., Hakalaa E., Eronena J.T. Decoupling for ecological sustainability: A categorisation and review of research literature *Environ Sci Policy. Environmental Science & Policy*, 2020, vol. 112, pp. 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.016>
3. Garrett R.D., Ryschawy J., Bell L.W., Cortner O., Ferreira J., Garik A.V.N., Gil J.D.B., Klerkx L., Moraine M., Peterson C.A., dos Reis J.C., Valentim J.F. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. *Ecology and Society*, 2020, vol. 25(1), article id: 24. <https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124>
4. Yu Q., He Q., Anthony M.A. et al. Uncoupled responses of plants and soil biota to global change in the world's terrestrial ecosystems. *Nat Commun*, 2024, vol. 15, article id: 10369. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54304-z>
5. Payne A.R.D., Mannion Ph.D., Lloyd G.T., Daviset K.E. et al. Breaking the speciation-extinction link shows that both abiotic and biotic factors shaped 250 million years of diversity in crocodile-line archosaurs. *Nat Ecol Evol*, 2024, vol. 8, pp. 121–132. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02244-0>
6. Avidad P.M. Trait-Based Niche Shifts in Birds Over Four Decades of Global Change. *Thesis: Master of Biodiversity and Conservation Biology*, 2024. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35209.04968>
7. de Freitas L.C., Kaneko S. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics*, 2011, vol. 70, pp. 1459–1469. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.011>
8. Sener S., Saridoğan E. The effects of science-technology-innovation on competitiveness and economic growth. *Procedia-Soc. Behav. Sci.*, 2011, vol. 24, pp. 815–828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.127>
9. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure and Economic Growth. OECD, Paris. 2002. Available at: https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/idsd/pdf/decoupling_environment_&_economy.pdf (accessed 28.05.2024)
10. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli*. 2024: R32 Stat. sb. Rosstat [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2024: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2024, 1081 p. (In Russian)
11. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli*. 2023: R32 Stat. sb. Rosstat. [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2023: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2023, 1126 p. (In Russian)
12. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli*. 2022: R32 Stat. sb. Rosstat [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2022, 1122 p. (In Russian)

13. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2021: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2021: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2021, 1112 p. (In Russian)

14. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2014: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2014: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2014, 900 p. (In Russian)

15. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2010: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2010: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2010, 996 p. (In Russian)

16. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2002: R32 Stat. sb. / Goskomstat Rossii* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2002: R32 Stat. collection. State Statistics Committee of Russia]. Moscow, 2002, 863 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Набиюла С. Гичиев проводил анализ и интерпретацию данных, подготовил рисунки, написал статью и корректировал рукопись до подачи в редакцию. Надира О. Гусейнова корректировала рукопись до подачи в редакцию. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nabiyula S. Gichiev analysed and interpreted the data, prepared the figures, wrote the manuscript and corrected it before submission. Nadira O. Guseynova corrected the manuscript before submission to the Editor. Both authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Набиюла С. Гичиев / Nabiyula S. Gichiev <http://orcid.org/0000-0002-0587-4853>

Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>