

Экологические последствия экономической интеграции: эмиссия парниковых газов и качество воздуха в ЕАЭС

Шкиотов Сергей Владимирович 

кандидат экономических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Российская Федерация

E-mail: shkiotov@yandex.ru

Насонова Дарья Васильевна

студент,

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Российская Федерация

E-mail: nasonovayar2004@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.

окружающая среда;
экологическая кривая
Кузнецца; экономический
рост на пространстве
ЕАЭС; эмиссия CO₂; PM2.5

АННОТАЦИЯ.

В статье проводится всесторонняя оценка состояния окружающей среды на пространстве Евразийского экономического союза (ЕАЭС) за период с 1990 по 2025 годы с акцентом на эмиссию двуокиси углерода (CO₂), концентрации мелкодисперсных частиц (PM2.5) и связь этих показателей с экономическим ростом стран-участниц. На основе официальных данных международных организаций (ВОЗ, Всемирный банк, МЭА, ООН) и национальной статистики анализируются экологические траектории пяти государств ЕАЭС: России, Казахстана, Беларуси, Армении и Киргизии. Выявлено, что значительное снижение выбросов CO₂ в 1990-х годах объяснялось в основном деиндустриализацией, а не целенаправленной экологической политикой этих стран. В последующие десятилетия наблюдались разнонаправленные тенденции: в России и Казахстане выбросы вновь возросли, в то время как в других странах остались на низком уровне. Анализ концентраций PM2.5 показал улучшение качества воздуха в Беларуси и России, но ухудшение в странах Центральной Азии. Корреляционный анализ продемонстрировал наличие статистически значимых связей между экономическим ростом и экологическими индикаторами в отдельных странах (например, Беларусь и Казахстан). Сделан вывод о необходимости активной декарбонизации экономик для достижения климатических целей

JEL codes: Q53, Q54, Q56, F64, O13

DOI: <https://doi.org/10.52957/2221-3260-2025-5-137-149>

Для цитирования: Шкиотов, С.В. Экологические последствия экономической интеграции: эмиссия парниковых газов и качество воздуха в ЕАЭС / С.В. Шкиотов, Д.В. Насонова. - Текст : электронный // Теоретическая экономика. - 2025 - №5. - С.137-149. - URL: <http://www.theoreticaleconomy.ru> (Дата публикации: 30.05.2025)

Введение

Евразийский экономический союз (ЕАЭС), объединяющий Россию, Казахстан, Беларусь, Армению и Киргизию, включает как крупнейшие мировые государства по территории и природным ресурсам, так и меньшие по размеру страны с горным рельефом. За период после 1990 года – времени распада СССР и начала перехода этих стран к рыночной экономике – окружающая среда в макрорегионе претерпела существенные изменения. Экономический спад 1990-х годов, последующий восстановительный рост 2000-х, демографические сдвиги и политические преобразования отразились на выбросах загрязняющих веществ, использовании природных ресурсов и общем экологическом состоянии стран ЕАЭС.

Более того, само создание ЕАЭС оказало влияние на состояние окружающей среды интегрирующихся экономик. Интеграционные процессы за счет расширения рынков сбыта, финансовой интеграции, интенсификации процессов производства и выстраивания региональных цепочек добавленной стоимости ускорили темпы экономического роста на пространстве Союза. Вместе с тем, в соответствии с гипотезой экологической кривой Кузнецца, расплатой за быстрые темпы экономического роста могут стать возрастающие экологические издержки [6].

С учетом динамики товарооборота и ВВП стран ЕАЭС за 2023 год (рост на 8%¹ и 3,8%² соответственно), а также отсутствие эмпирических исследований состояния окружающей среды в ЕАЭС, исследовательский вопрос о влиянии интеграционных процессов на качество окружающей среды в рамках данного объединения приобретает особую актуальность.

Цель исследования – провести всесторонний анализ экологических трендов в странах ЕАЭС за последние 30 с лишним лет с опорой на официальные данные международных организаций (Всемирный банк, Всемирная организация здравоохранения, Международное энергетическое агентство, Программа ООН по окружающей среде и др.) и национальные отчеты.

Это позволит ответить на ряд исследовательских вопросов: как изменилось состояние окружающей среды вследствие социально-экономического развития стран в долгосрочном интервале времени; привело ли создание ЕАЭС к росту экологических издержек; насколько рационально используются природные ресурсы на пространстве интеграционного объединения?

Методология

В данной работе анализируются следующие ключевые экологические индикаторы:

- выбросы двуокиси углерода (CO₂) – как в абсолютном выражении, так и на душу населения;
- качество атмосферного воздуха (концентрации мелкодисперсных частиц PM2.5);
- экологический след (на душу населения и совокупный);
- доля возобновляемых источников в энергопотреблении;
- состояние водных ресурсов и почвы (по доступным данным о загрязнении и очистке);
- показатели использования ресурсов (водопотребление, энергопотребление, добыча сырья).

Для обеспечения сопоставимости и надежности данных были использованы открытые международные базы данных. Данные по выбросам CO₂, качеству воздуха (PM2.5), возобновляемой энергии и использованию водных ресурсов взяты из базы данных Всемирного банка (World Development Indicators), ОЭСР, ВОЗ и специализированных агентств ООН. Данные по экологическому следу заимствованы из отчетов Global Footprint Network и сводок Всемирного обзора устойчивого развития. Информация о доле ВИЭ в энергопотреблении получена из базы данных ООН (индикатор 7.2.1 ЦУР) и Международного энергетического агентства. Показатели по очистке сточных вод и качеству воды взяты из Индекса экологической эффективности (EPI) Йельского университета, глобальной базы ЦУР (индикатор 6.3.1 и 6.3.2) и национальных статистических докладов.

Глубина исследования: 1990-2025 гг. Для всех стран ЕАЭС базовым является 1990 год . Этот базовый рубеж важен, поскольку 1990 год часто используется как точка отсчета, например, в целях Киотского протокола и Парижского соглашения по сокращению выбросов. Завершающим является 2025 год или последнее доступное значение (на практике многие ряды данных доступны до 2020-2022 гг., поэтому 2025 год рассматривается в прогнозном или целевом ключе). Динамика показателей оценивается как в количественном выражении (например, изменение выбросов в млн тонн, концентраций в мкг/м³, долей в процентах), так и в относительном (проценты изменения от уровня 1990 года).

Также следует отметить, что доступность данных несколько отличается по странам и периодам.

¹ Торговый оборот стран ЕАЭС за 9 месяцев составил 90 млрд долларов. URL: https://www.alta.ru/ts_news/106830/ (дата обращения: 01.12.2024)

² Опубликована статистика ЕАЭС по итогам 2023 года. URL: https://guinea.mid.ru/ru/embassy/news/statistika_eaes_2023/ (дата обращения: 01.12.2024)

Например, у Армении и Киргизии многие временные ряды начинаются с середины 1990-х (после восстановления независимости), тогда как для России, Казахстана и Беларуси обычно доступны ретроспективные оценки и за 1990 год. Там, где данные неполные, сделаны оговорки. В целом, методология основана на сравнительном анализе измеримых индикаторов окружающей среды, что обеспечивает объективность и воспроизводимость выводов.

Поскольку в работе исследуется большое количество экологических индикаторов в долгосрочном интервале времени по пяти экономикам, исследование будет разбито на несколько частей. В первой части исследования оценим состояние окружающей среды на пространстве ЕАЭС, через два ключевых индикатора, характеризующих состояние атмосферы – эмиссию CO₂ и концентрацию мелкодисперсных частиц (PM2.5) в воздухе.

Результаты

В 1990 году совокупные выбросы CO₂ (энергетика и промышленность) на территории пяти государств ЕАЭС были очень высоки вследствие унаследованной со времен СССР индустриальной структуры экономик. Например, Россия выбросила около 2,4 млрд тонн CO₂ в 1990 г. (рекордный уровень), Казахстан – порядка 300 млн т, тогда как Беларусь, Армения и Киргизия совокупно менее 100 млн т. После 1990 г. абсолютные выбросы во всех этих государствах резко сократились – прежде всего из-за экономического коллапса, спада производства и, соответственно, энергопотребления в 1990-е годы (см. рис. 1).

По данным Еврокомиссии и национальных исследований, к середине 1990-х Россия сократила выбросы примерно на 30-40% от уровня 1990 г., Казахстан – более чем на 40%, а малые экономики (Армения, Киргизия) – на 60-70% [1]. Армения, например, уменьшила годовые выбросы с 25 млн т CO₂-эквивалента в 1990 г. до 7 млн т к 1995 г., после чего эмиссия стабилизировалась на низком уровне (7-8 млн т в год в 2000-е) [1]. Киргизия и Беларусь показали схожий тренд: падение в 1990-е (для Киргизии до 5-7 млн т CO₂ в конце 90-х), а затем медленный рост и плато на низких значениях выбросов.

С начала 2000-х – на волне экономического восстановления – выбросы углерода вновь поползли вверх, особенно в России и Казахстане. Россия, чьи эмиссии CO₂ были около 1,5 млрд т в 2000 г., к 2012 г. увеличила их до 1,8 млрд т, после чего наблюдалась стабилизация и небольшой спад (см. рис.1). По оценкам МЭА, российские выбросы CO₂ составили 1,62 млрд т в 2020 г. (спад из-за пандемии) и около 1,84-1,90 млрд т в 2022 г. – то есть все еще на 20% ниже уровня 1990 г. Казахстан, обладая преимущественно угольно-нефтяной экономикой, к 2021 г. увеличил эмиссии до 321 млн т CO₂-экв. (включая другие парниковые газы), что приблизило его к значениям 1990 г., хотя все еще немного ниже³. Согласно национальному докладу, выбросы Казахстана в 2021 г. были на 15% ниже уровня 1990 г. и составили около 340 млн т CO₂-экв. [2]. Таким образом, Казахстан практически вернулся к объему выбросов конца советского периода, особенно за счет бурного роста в энергетике и промышленности в 2000-2010-х годах. Для сравнения, Беларусь и страны Южного Кавказа удерживают выбросы значительно ниже советского уровня. В 2019 г. суммарные выбросы парниковых газов в Беларуси составляли 90 млн т CO₂-экв., что на 40% ниже 1990 г., при этом чисто CO₂ – порядка 60 млн т (за счет замещения угля газом и упадка энергоемкой индустрии). Армения в 2017 г. достигла 10,6 млн т CO₂-экв. [1], что все равно на 60% ниже уровня 1990 г. Выбросы Киргизии колеблются в диапазоне 10-14 млн т CO₂ в последние годы (около половины уровня 1990 г.).

Таким образом, на пространстве ЕАЭС можно выделить две группы стран: Россия и Казахстан – крупные эмитенты CO₂, снижавшие выбросы в 90-е и вновь нараставшие их в 2000-е (хотя и не до исходных значений 1990 г.), и Беларусь, Армения, Киргизия, у которых текущие выбросы остаются существенно ниже базового уровня, несмотря на некоторый рост после 2010 г. Основной вклад в региональные выбросы дает Россия – на нее приходится 80% суммарного CO₂ ЕАЭС (в 2020 г. около

³ Greenhouse Gas Emissions in Kazakhstan. Источник: <https://www.emission-index.com/countries/kazakhstan> (дата обращения: 01.04.2024)

1,62 из 2,0 млрд т)⁴, второе место у Казахстана (0,21 млрд т), а остальные страны вместе – менее 0,1 млрд т. Это соотношение было схожим и в 1990 г. за исключением доли Казахстана (тогда выше).

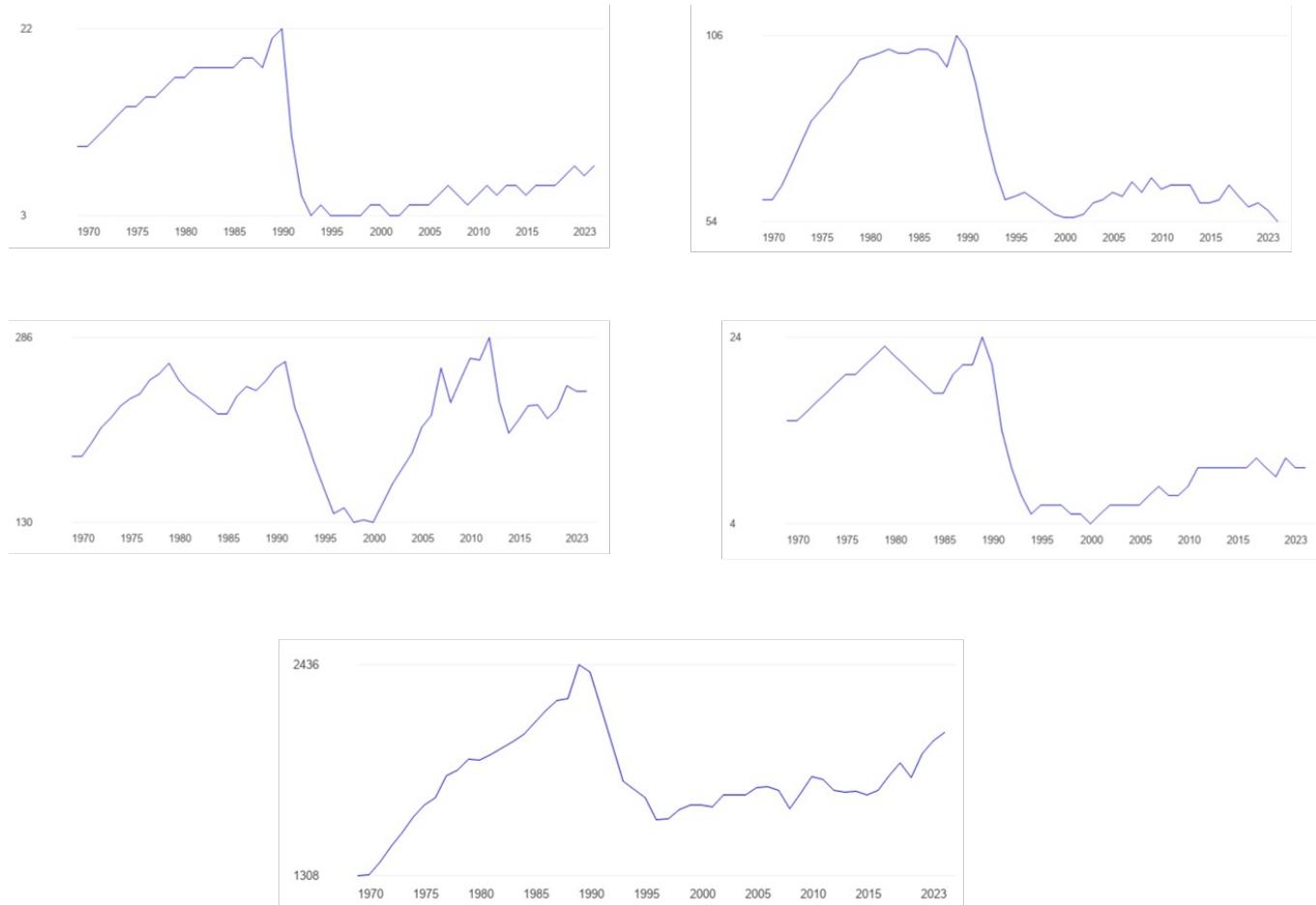


Рисунок 1. Эмиссия CO₂ на пространстве ЕАЭС*, 1970-2023 гг.^{5,6,7,8,9,10}

*Здесь и далее на всех графиках. Слева на право: Армения, Белоруссия, Казахстан, Киргизия, Россия

Далее отдельно проанализируем выбросы CO₂ на душу населения. Это связано с тем, что удельные показатели отражают интенсивность эмиссии относительно численности населения и уровень индустриализации экономики. Так, Казахстан по удельным выбросам сейчас в числе лидеров в ЕАЭС – около 11-12 т CO₂ на человека в год (сравнимо с показателями европейских стран с угольной генерацией) при населении 19 млн человек. Это объясняется концентрацией энергоемких отраслей (металлургия, добыча нефти и газа) и высоким потреблением угля на душу населения.

⁴ *Russia CO₂ Emissions.* Источник: <https://www.worldometers.info/co2-emissions/russia-co2-emissions/> (дата обращения: 01.04.2024)

⁵ *Russia: Carbon dioxide (CO₂) emissions.* Источник: https://www.theglobaleconomy.com/Russia/carbon_dioxide_emissions (дата обращения: 01.04.2024)

⁶ *Armenia: Carbon dioxide (CO₂) emissions.* Источник: https://www.theglobaleconomy.com/Armenia/carbon_dioxide_emissions (дата обращения: 01.04.2024)

⁷ *Belarus: Carbon dioxide (CO₂) emissions.* Источник: https://www.theglobaleconomy.com/Belarus/carbon_dioxide_emissions (дата обращения: 01.04.2024)

⁸ *Kazakhstan: Carbon dioxide (CO₂) emissions.* Источник: https://www.theglobaleconomy.com/Kazakhstan/carbon_dioxide_emissions (дата обращения: 01.04.2024)

⁹ *Kyrgyzstan: Carbon dioxide (CO₂) emissions.* Источник: https://www.theglobaleconomy.com/Kyrgyzstan/carbon_dioxide_emissions (дата обращения: 01.04.2024)

¹⁰ *Russia CO₂ Emissions.* Источник: <https://www.worldometers.info/co2-emissions/russia-co2-emissions/> (дата обращения: 01.04.2024)

Россия имеет удельную эмиссию также порядка 11-12 т/чел в 2021-2022 гг., что тоже является высоким значением (для сравнения, среднемировое значение – около 4,8 т/чел на 2021 г.). Следовательно, и Россия, и Казахстан существенно превышают среднемировой уровень, оставаясь при этом все же ниже, например, США (14-15 т/чел) или некоторых нефтедобывающих стран Персидского залива. В России удельный показатель снизился с 15 т/чел в 1990 г. до минимума 8-9 т в конце 1990-х, а затем вновь вырос до 11-12 т/чел к 2010-м вслед за ростом промышленности и транспортного сектора¹¹.

Беларусь, Армения и Киргизия имеют гораздо меньший углеродный след на душу населения. Беларусь находится на уровне 6 т СО₂/чел (2020 г.), что близко к среднеевропейскому значению, отчасти благодаря широкому использованию природного газа и использованию атомной энергетики (БелАЭС), что сдерживает удельные выбросы. Армения и Киргизия выбрасывают менее 4 т/чел (около 3,5 т/чел для Армении в 2020 г. и порядка 1,8-2,5 т для Киргизии). Особый случай – Киргизия: в 1990 г. удельные выбросы у нее были относительно невысоки (3-4 т/чел), после экономического спада они опустились ниже 2 т, и даже в рекордные по потреблению годы остаются меньше <3 т/чел. Это обусловлено относительно слабой индустриализацией и преобладанием гидроэнергетики в производстве электричества.

Важно подчеркнуть, что сокращение выбросов в 1990-е произошло в основном не от целенаправленной экологической политики, а вследствие череды экономических потрясений и деиндустриализации. Например, закрытие энергоемких заводов и спад промышленного производства в России в 90-е гг. сократили выбросы без специальных мер [1]. В 2000-е, напротив, рост экономики и промышленности (нефтегазового сектора, металлургии, цементной отрасли, транспорта) привел к росту эмиссии СО₂. В России в 2010-е наблюдалось относительное плато выбросов: частично из-за структурных изменений (рост сектора услуг, улучшение энергоэффективности и модернизация ТЭЦ), частично из-за замедления экономического роста. В Казахстане увеличение добычи нефти, удвоение производства электроэнергии (в основном за счет угля) – главные драйверы роста СО₂. У Беларуси стабильно невысокие темпы роста эмиссий после 2000 г. связаны с тем, что экономика росла менее углеродоемкими путями, в том числе за счет увеличения доли газа и импортного сырья, а также улучшения энергоэффективности советской инфраструктуры. У Армении и Киргизии значимого промышленного роста, сравнимого с советским периодом, не произошло; увеличение выбросов после 2010 г. вызвано ростом транспорта, бытового потребления энергии и частично восстановлением промышленности (в Армении – горнорудной отрасли, в Киргизии – золотодобычи). Тем не менее, даже с учетом этого, в 2017 г. выбросы Армении были всего 10 млн т СО₂-экв., что на четверть выше уровня 2010 г., но значительно ниже 1990 г.

При этом необходимо отметить, что все пять стран ЕАЭС формально присоединились к Парижскому соглашению и имеют национально определяемые вклады по сокращению выбросов парниковых газов. Россия, например, ставит цель снижение к 2030 г. на 30% от уровня 1990 г. (с учетом поглощения лесами) – эта цель уже практически достигнута к 2020 г. (реальное снижение 34% с учетом лесного поглощения) [3]. Казахстан поставил задачу сократить выбросы на 15% к 2030 г. от уровня 1990 г., что требует удерживать их не выше 328 млн т СО₂-экв. (в 2021 г. было 321 млн т, то есть Казахстан фактически достиг поставленной цели) [2]. Беларусь заявляла намерение сократить выбросы на 35% к 2030 (от значений 1990 г.), что при ее траектории развития также уже выполнено (в 2019 г. было уже -40%). Армения и Киргизия, как развивающиеся страны с низким вкладом в глобальную эмиссию парниковых газов легко достигли заявленные цели.

Таким образом, все страны ЕАЭС, уже удерживают свои выбросы ниже базовых уровней и в значительной степени выполняют или превышают заявленные климатические цели на 2030-е годы. Это, однако, достигнуто в основном за счет прошлых сокращений (за счет экономического спада и деиндустриализации); дальнейшее снижение потребует активной декарбонизации экономик,

¹¹ Russia: Carbon dioxide (CO₂) emissions. Источник: https://www.theglobaleconomy.com/Russia/carbon_dioxide_emissions (дата обращения: 01.04.2024)

особенно в случае России и Казахстана.

Далее рассмотрим такой индикатор состояния атмосферного воздуха как концентрацию мелкодисперсных твердых частиц диаметром менее 2,5 микрометров (PM2.5).

Поскольку именно они являются одним из наиболее опасных для здоровья человека видов загрязнителей воздуха, – проникая глубоко в легкие, вызывают респираторные и сердечно-сосудистые заболевания.

В советский период качество воздуха в промышленных центрах и мегаполисах было низким, однако основными загрязнителями тогда были крупнодисперсные пыль и диоксид серы; систематических измерений именно PM2.5 почти не проводилось. Современные оценки основаны на моделях ВОЗ и позволяют сравнить экспозицию населения к PM2.5 в динамике с 1990 г. Согласно этим оценкам, в РФ средняя концентрация PM2.5 в 1990 г. составляла около 11-12 мкг/м³, а к 2020 г. снизилась до 10 мкг/м³¹². То есть в целом по стране воздух стал чище, хотя и незначительно – порядка 10% улучшения. Похожая ситуация и в Беларуси: с 15 мкг/м³ в 1990-е до 9-10 мкг/м³ в последние годы (улучшение на 30-40%). Эти страны сейчас близки к параметрам уже устаревшего норматива ВОЗ (10 мкг/м³), однако эти значения намного превышают обновленное руководство ВОЗ 2021 г. (5 мкг/м³).

Для Казахстана, Киргизии и Армении картина иная: там уровни PM2.5 значительно выше и динамика менее однородна. В 1990 г. у Казахстана расчетная средняя концентрация PM2.5 была в районе 30 мкг/м³, после чего она снизилась до 22 мкг/м³ к 2000 г. за счет спада в тяжёлой промышленности, но затем вновь начала расти. Пик загрязнения в Казахстане пришёлся на 2005 г., когда среднее значение достигало 31 мкг/м³ (см. рис. 2). В последующие годы, благодаря модернизации ТЭЦ и закрытию старых производств, концентрации слегка уменьшились: в 2017 г. – около 22 мкг/м³, а к 2020-м – порядка 20-22 мкг/м³ (но это всё равно в 3-4 раза выше норм ВОЗ)¹³. Схожая ситуация наблюдается и в Армении: в 1990-е уровни PM2.5 были порядка 25-27 мкг/м³, затем наблюдался всплеск до 34 мкг/м³ в 2005 г. (из-за роста автотранспортных средств и энергодефицита, приведшего к сжиганию твёрдого топлива), а к 2017 г. снизилось до 26 мкг/м³. Киргизия же оказалась одной из наиболее неблагополучных в этом отношении стран ЕАЭС: по данным Чикагского университета, в 2005 г. среднее воздействие PM2.5 на человека в Киргизии достигало 50-51 мкг/м³ – это экстремально высокий уровень¹⁴. Это объясняется комбинацией факторов – широким использованием угля и дров для отопления в городах (особенно в Бишкеке), слабым контролем выхлопов автотранспорта и частыми неблагоприятными метеоусловиями (затоки холодного воздуха в долинах). После 2010 г. Киргизия несколько улучшила ситуацию: к 2017 г. концентрация снизилась до 33 мкг/м³ (но все еще в 5-6 раз выше нормы), а по некоторым оценкам последние зимы 2020-х вновь характеризуются ростом загрязнения в крупных городах (см. рис.2).

Таким образом, Россия и Беларусь имеют умеренное загрязнение PM2.5 (около 8-12 мкг/м³, что соизмеримо с Польшей или Кореей), тогда как Казахстан, Армения, Киргизия – высокое (20-30+ мкг/м³, что схоже с худшими показателями Европы и Центральной Азии). При этом все пять стран превышают как старые, так и новые пороговые значения установленные ВОЗ, а значит, качество воздуха остается проблемой для стран ЕАЭС. Особенno это касается городов: в крупных агломерациях значения намного выше среднего по стране. Например, в Москве среднегодовой PM2.5 15-20 мкг/м³, в Нур-Султане (Астана) – 30+, в Бишкеке зимой фиксируются эпизоды >100 мкг/м³ (смог).

Необходимо отметить, что источники PM2.5 несколько различаются по странам. В России и Беларусь основными источниками загрязнения являются энергетика (сжигание угля, мазута на ТЭЦ) и транспорт, а также трансграничный перенос дыма от лесных пожаров. За последние десятилетия

¹² The University of Chicago. The Air Quality Life Index. Источник: <https://aqli.epic.uchicago.edu/the-index/> (дата обращения: 01.04.2024)

¹³ The University of Chicago. The Air Quality Life Index. Источник: <https://aqli.epic.uchicago.edu/the-index/> (дата обращения: 01.04.2024)

¹⁴ The University of Chicago. The Air Quality Life Index. Источник: <https://aqli.epic.uchicago.edu/the-index/> (дата обращения: 01.04.2024)

закрытие старых ТЭЦ на угле, переход ряда котельных на газ и улучшение топливных стандартов способствовали снижению уровня содержания частиц в воздухе. Так, выбросы PM2.5 в российской промышленности снизились на 9% с 1990 по 2015 гг. [4]. В Казахстане же традиционно большая роль угля в энергобалансе: старые электростанции и котельные, плюс пылевые бури в засушливых районах, дают высокий фон PM2.5. В Армении крупный вклад вносят частный сектор (печное отопление, сжигание мусора) и транспорт – автопарк страны старый, бензин не самого высокого качества. Киргизия так же страдает от массового использования угля для отопления домохозяйств и ТЭЦ: по данным ВОЗ, около 60% городского населения страны подвергается концентрациям PM2.5 выше 35 мкг/м³ в отопительный сезон. Сезонность отчетливо проявляется: зимой уровни PM2.5 в городах Киргизии и Казахстана возрастают в 3-5 раз против лета [4]. В России – наоборот, летом пожары могут приводить к кратковременному скачку содержания частиц в воздухе.

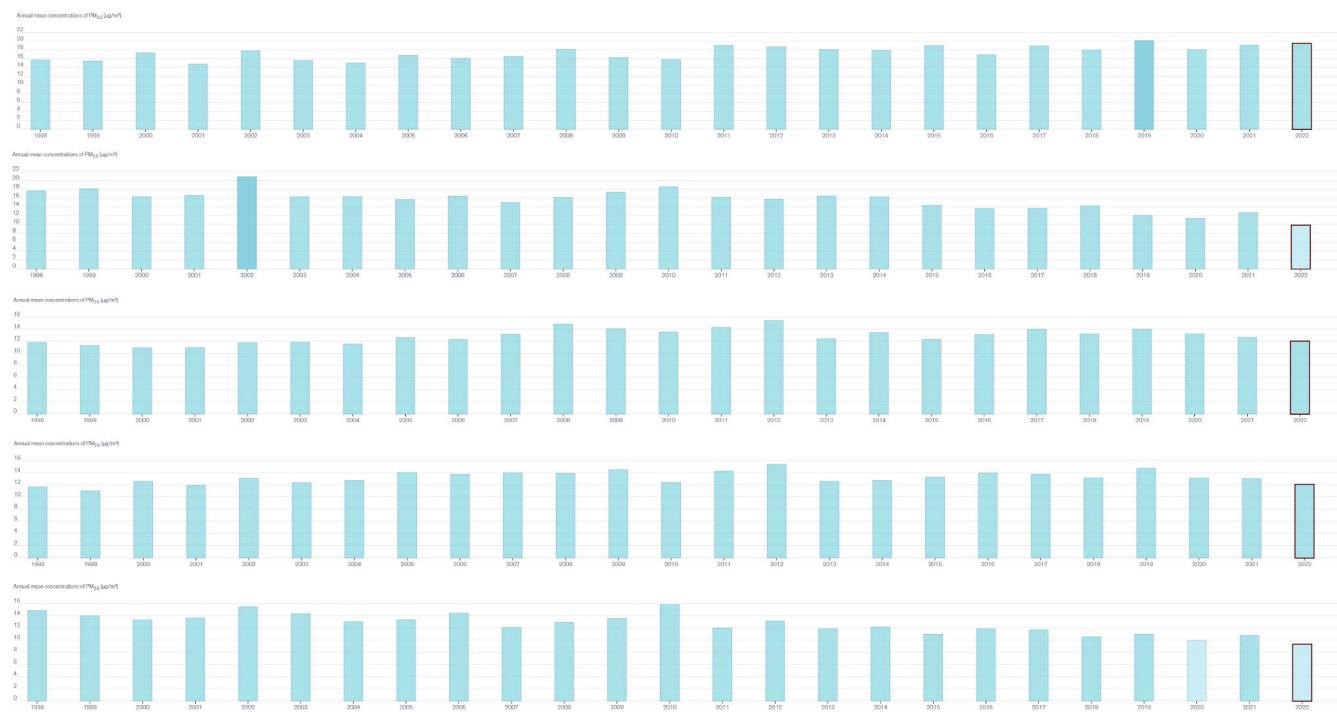


Рисунок 2. Уровни PM_{2.5} на пространстве ЕАЭС, 1998-2022 гг.¹⁵

Необходимо понимать, что высокая концентрация PM_{2.5} в воздухе не просто еще один индикатор состояния окружающей среды и атмосферного воздуха, это то, что непосредственно влияет на состояние здоровья населения и предполагаемую продолжительность жизни. Так, по оценкам ВОЗ, в 2016 г. в России более 60 тыс. преждевременных смертей были связаны с амбиентным загрязнением воздуха, в Казахстане – около 6-8 тыс., в Киргизии (с населением 6,5 млн) – свыше 1500 случаев. Если в России показатель смертности от загрязнения воздуха снижается (вместе с концентрациями), то в Центральной Азии он, напротив, рос до конца 2010-х. В частности, Всемирный банк отмечает, что экономический ущерб от болезней, связанных с загрязнением воздуха, в Казахстане достигает 1.5-2.0% ВВП (учитывая расходы здравоохранения и потери производительности) [5].

В то же время все пять стран ЕАЭС имеют национальные предельно допустимые концентрации (ПДК) для PM_{2.5}, обычно равные или близкие старому руководству ВОЗ 10 мкг/м³. Однако выполнение этих стандартов сильно варьируется от страны к стране: Беларусь и Россия добились определенного прогресса: качество воздуха в Минске, Москве, Санкт-Петербурге сейчас лучше, чем 30 лет назад, благодаря газификации, выносу части промышленных предприятий за черту города, внедрению стандартов Евро-5 для топлива. Например, среднегодовой уровень PM_{2.5} в Минске 12

¹⁵ The University of Chicago. The Air Quality Life Index. Источник: <https://aqli.epic.uchicago.edu/the-index/> (дата обращения: 01.04.2024)

мкг/м³, что ниже, чем во многих восточноевропейских столицах. В Казахстане принятые программы модернизации ТЭЦ (установка электрофильтров, переход на газ в Алма-Ате), но реализация идет медленно. В Киргизии лишь недавно начали обсуждаться строгие меры (запрет на ввоз старых дизельных авто, субсидии на электрическое отопление), и пока воздух остается крайне загрязненным каждую зиму.

Таким образом, динамика содержания PM2.5 в воздухе на пространстве ЕАЭС неоднозначна: европейская часть (Россия, Беларусь) – наблюдается умеренное улучшение, тогда как в Центральной Азии период ухудшения в 2000-х сменился лишь частичным улучшением к 2020-м, и уровни там по-прежнему опасно высоки.

Далее с помощью корреляционного анализа (корреляция Пирсона, p-value 5%) оценим наличие взаимосвязи между темпами роста экономик стран ЕАЭС и индикаторами, характеризирующими состояние окружающей среды (CO₂, PM2.5).

Исследовательская гипотеза – в соответствии с экологической кривой Кузнецца, должна существовать статистически значимая связь между темпами экономического роста и состоянием окружающей среды (интенсификация экономического роста в рамках ЕАЭС приводит к ухудшению состояния окружающей среды).

Датасет для проведения корреляционного анализа доступен по ссылке: 10.5281/zenodo.15766858.

Результаты корреляционного анализа представлены ниже (см. рис.3, табл.1).

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа

Страна	Индикатор	Корреляция	p-value	Значимость
Армения	PM2,5	-0.08267551169567	0.707638426891	Нет
	CO2 на душу	-0.26254494522302	0.226172594866	Нет
	CO2, в млн т	-0.33352146178611	0.119891146660	Нет
Белоруссия	PM2,5	0.54450507080380	0.007223820080	Да
	CO2 на душу	-0.03789467921613	0.863702600007	Нет
	CO2, в млн т	0.14454353880870	0.510526518289	Нет
Казахстан	PM2,5	-0.51919499023518	0.011124456697	Да
	CO2 на душу	-0.31053848361530	0.149252468702	Нет
	CO2, в млн т	-0.55438889950009	0.006047901975	Да
Киргизия	PM2,5	-0.21117073994785	0.333429528403	Нет
	CO2 на душу	0.07858115665709	0.721542842878	Нет
	CO2, в млн т	0.06677855080053	0.762090323129	Нет
Россия	PM2,5	0.43857953374211	0.036307734656	Да
	CO2 на душу	-0.13530967491718	0.538174474696	Нет
	CO2, в млн т	-0.13661217608791	0.534232820008	Нет

Источник: рассчитано автором

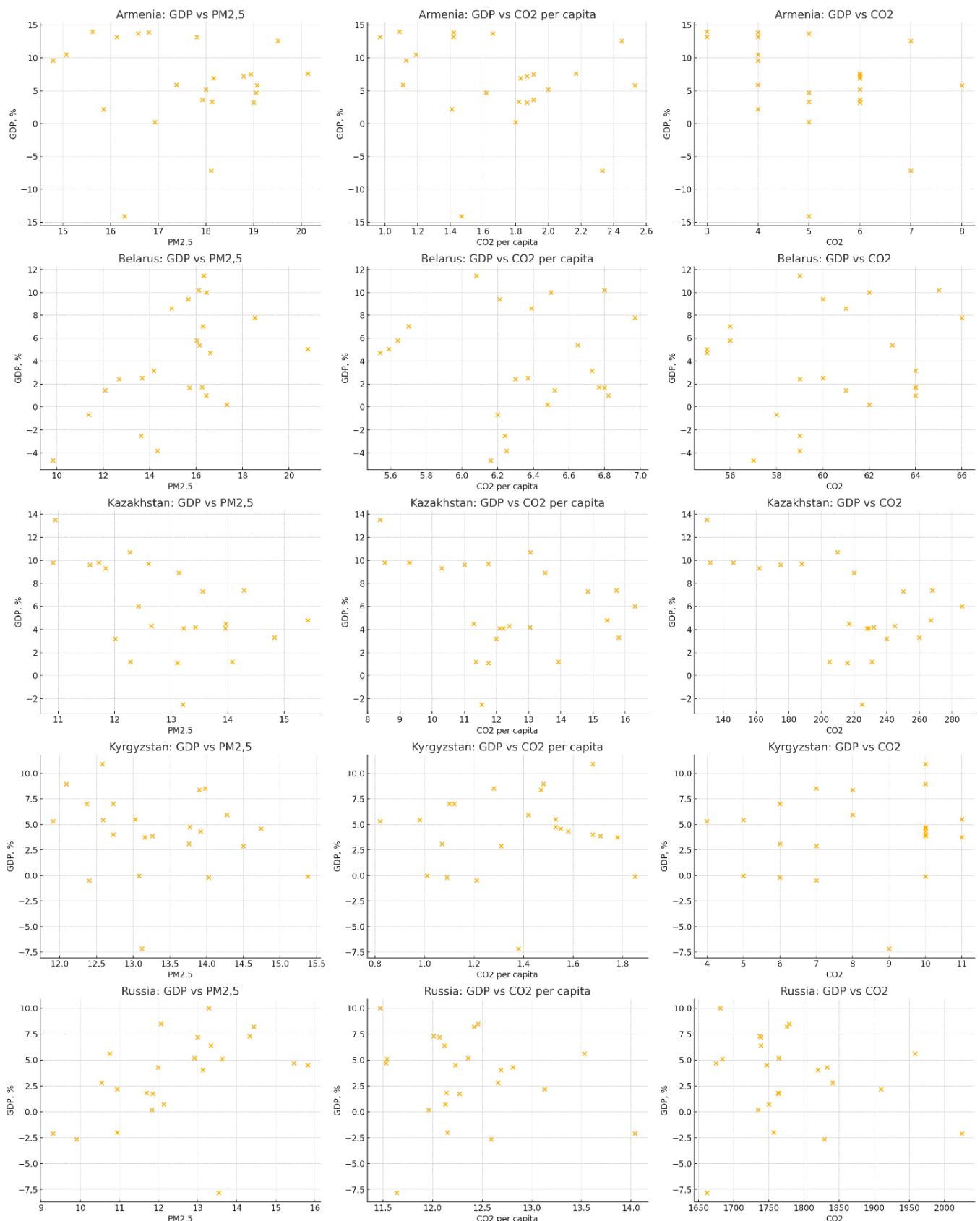


Рисунок 3. Диаграмма рассеивания между темпами роста экономик и CO₂, CO₂ на душу населения, PM2.5 для стран ЕАЭС

Источник: построено автором

Проведенный корреляционный анализ показал следующие результаты взаимосвязи между ВВП и экологическими показателями для Армении:

- PM2.5: корреляция крайне слабая и статистически незначимая (-0.083 , $p\text{-value} = 0.708$). Это свидетельствует о том, что концентрация мелких твердых частиц (PM2.5) не связана значимо с динамикой ВВП страны;

- CO₂ на душу населения: корреляция слабая и отрицательная (-0.263 , $p\text{-value} = 0.226$). Несмотря на отрицательное направление, она статистически незначима, следовательно, этот показатель также не имеет очевидной значимой связи с ростом ВВП;

- Общий объем выбросов CO₂: корреляция отрицательная и средняя по силе (-0.334), но статистически также незначимая ($p\text{-value} = 0.120$). Это указывает на потенциальную тенденцию к снижению объема выбросов CO₂ при росте экономики, однако данная связь не подтверждается статистической значимостью на уровне 5%.

Результаты анализа взаимосвязи между ВВП и экологическими показателями для Белоруссии:

- PM2.5: обнаружена умеренная положительная и статистически значимая связь (корреляция = 0.545 , $p\text{-value} = 0.007$). Это означает, что рост экономики в Беларуси связан с увеличением концентрации твердых частиц в воздухе, что может свидетельствовать об ухудшении экологической ситуации на фоне экономического роста;

- CO₂ на душу населения: практически нулевая и статистически незначимая корреляция (-0.038 , $p\text{-value} = 0.864$). Следовательно, рост экономики в Беларуси не сопровождается значимым изменением выбросов CO₂ на душу населения;

- Общий объем выбросов CO₂: низкая положительная корреляция (0.145), статистически незначимая ($p\text{-value} = 0.511$). Это свидетельствует о том, что рост экономики Беларуси не имеет значимой связи с изменением общего объема выбросов CO₂ за исследуемый период.

Результаты анализа взаимосвязи между ВВП и экологическими показателями для Казахстана:

- PM2.5: выявлена умеренная отрицательная и статистически значимая связь (-0.519 , $p\text{-value} = 0.011$). Это означает, что экономический рост в Казахстане связан с уменьшением концентрации мелких твердых частиц в воздухе, указывая на положительный экологический тренд;

- CO₂ на душу населения: обнаружена слабая отрицательная корреляция (-0.311), которая статистически незначима ($p\text{-value} = 0.149$). Это говорит о том, что выбросы CO₂ на душу населения не имеют устойчивой и значимой зависимости от динамики ВВП в данном периоде;

- Общий объем выбросов CO₂: идентифицирована умеренная отрицательная и статистически значимая корреляция (-0.554 , $p\text{-value} = 0.006$). Это свидетельствует о том, что рост экономики Казахстана сопровождается сокращением общего объема выбросов CO₂, что может говорить об эффективной реализации экологических политик и мероприятий по снижению выбросов.

Результаты анализа взаимосвязи между ВВП и экологическими показателями для Киргизии:

- PM2.5: корреляция слабая отрицательная (-0.211) и статистически незначимая ($p\text{-value} = 0.333$). Это указывает на отсутствие явной и значимой связи между концентрацией мелких твердых частиц и экономическим ростом;

- CO₂ на душу населения: связь практически отсутствует (корреляция = 0.079) и является статистически незначимой ($p\text{-value} = 0.722$). Таким образом, экономический рост не влияет существенно на уровень выбросов CO₂ на душу населения;

- Общий объем выбросов CO₂: также крайне слабая положительная и статистически незначимая связь (корреляция = 0.067 , $p\text{-value} = 0.762$). Это подтверждает отсутствие устойчивой зависимости между общим объемом выбросов CO₂ и динамикой экономики Киргизии.

Результаты анализа взаимосвязи между ВВП и экологическими показателями для России:

- PM2.5: обнаружена умеренная положительная и статистически значимая связь (0.439 , $p\text{-value} = 0.036$). Это указывает на тенденцию роста концентрации твердых частиц (PM2.5) в воздухе на фоне увеличения экономического роста в России, что потенциально свидетельствует об ухудшении

экологической ситуации при активном экономическом развитии;

– СО₂ на душу населения: отрицательная слабая корреляция (-0.135), статистически незначимая (*p-value* = 0.538). Следовательно, уровень выбросов СО₂ на душу населения не зависит явно от темпов экономического роста;

– Общий объем выбросов СО₂: аналогично предыдущему показателю, корреляция отрицательная и слабая (-0.137), статистически незначимая (*p-value* = 0.534). Таким образом, общий объем выбросов СО₂ в России не демонстрирует существенной взаимосвязи с экономическим ростом в изучаемом периоде.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено:

1. Основной вклад в региональные выбросы СО₂ дает Россия – на нее приходится 80% суммарной эмиссии ЕАЭС, второе место у Казахстана; у остальных стран Союза текущие выбросы остаются существенно ниже базового уровня 1990 г. При этом значимое сокращение эмиссии СО₂ на пространстве ЕАЭС (от значений 1990 г.) обусловлено не целенаправленными действиями стран, а чередой экономических потрясений и деиндустриализацией 90-х.

2. Все страны ЕАЭС на текущий момент уже удерживают выбросы СО₂ на душу населения ниже базовых уровней и в значительной степени выполняют или превышают заявленные климатические цели на 2030-е годы.

3. Динамика содержания РМ2.5 в воздухе на пространстве ЕАЭС неоднозначна: в европейской части (Россия, Беларусь) – наблюдается умеренное улучшение состояния атмосферного воздуха, тогда как в Центральной Азии период ухудшения в 2000-х сменился лишь незначительным улучшением к 2020-м, и уровни концентрации мелкодисперсных твердых частиц в воздухе там по-прежнему опасно высоки.

4. Анализ показал, что в случае Армении исследуемые экологические индикаторы статистически никак не связаны с динамикой экономического роста. Среди рассмотренных экологических индикаторов только РМ2.5 демонстрирует значимую связь с динамикой ВВП Беларусь, указывая на возможные экологические риски, связанные с экономическим развитием страны. Экономический рост в Казахстане в анализируемом периоде был связан с улучшением двух экологических индикаторов: концентрацией РМ2.5 и общего объема выбросов СО₂, что говорит о положительной экологической траектории развития страны. В Киргизии за исследуемый период не выявлено статистически значимой связи между рассмотренными экологическими индикаторами и экономическим ростом. Рост ВВП в России сопровождается повышением концентрации мелких твердых частиц в воздухе, что может создавать риски для экологической устойчивости и здоровья населения.

В следующей части исследования будет проанализирована связь других экологических индикаторов с динамикой экономического роста на пространстве ЕАЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Armenia. Biennial update report (BUR). BUR 3. 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unfccc.int/documents/274257> (дата обращения: 29.06.2025).
2. One year later: unveiling progress of Kazakhstan's carbon neutrality strategy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qazinform.com/news/one-year-later-unveiling-progress-of-kazakhstans-carbon-neutrality-strategy-744f31#:~:text=One%20year%20later%3A%20unveiling%20progress> (дата обращения: 29.06.2025).
3. Исмагилова О., Попова В. Углеродная нейтральность и другие инициативы КНР в сфере энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vavt-imef.ru/wp-content/uploads/2022/01/Monitoing_77text1.pdf#:~:text=,Page%205 (дата обращения: 29.06.2025).
4. В то время как выбросы в странах Восточной Европы... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1590828/FULLTEXT02.pdf#:~:text=%D0%92%D0%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F%D0%BA%D0%B0%D0%BA%D0%B2%D0%B2%D1%8B%D0%B1%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B,%D0%92%D0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%85%D0%92%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%95%D0%BD%D0%BD%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D0%BD%D1%8B> (дата обращения: 29.06.2025).
5. European health burden attributable to air pollution fell over three decades from 1990 to 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://environment.ec.europa.eu/news/european-health-burden-attributable-air-pollution-fell-over-three-decades-1990-2019-2023-01-11> (дата обращения: 29.06.2025).
6. Kuznets S. Economic Growth and Income Inequality // The American Economic Review. 1955. Vol. 45, No. 1. P. 1–28.

Environmental Consequences of Economic Integration: Greenhouse Gas Emissions and Air Quality in the EAEU

Shkiotov Sergei Vladimirovich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation
E-mail: shkiotov@yandex.ru

Nasonova Darya Vasilyevna

Student,
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation
E-mail: nasonovayar2004@gmail.com

KEYWORDS.

environment; environmental Kuznets curve; economic growth in the EAEU; CO₂ emissions; PM2.5

ABSTRACT.

This article provides a comprehensive assessment of the environmental state across the Eurasian Economic Union (EAEU) from 1990 to 2025, focusing on carbon dioxide (CO₂) emissions, fine particulate matter (PM2.5) concentrations, and the relationship between these indicators and economic growth in member states. Based on official data from international organizations (WHO, World Bank, IEA, UN) and national statistics, the study analyzes the environmental trajectories of the five EAEU countries: Russia, Kazakhstan, Belarus, Armenia, and Kyrgyzstan. It is revealed that the significant reduction in CO₂ emissions during the 1990s was mainly due to deindustrialization rather than targeted environmental policy. In subsequent decades, divergent trends emerged: CO₂ emissions rose again in Russia and Kazakhstan, while remaining low in other countries. The analysis of PM2.5 concentrations showed improved air quality in Belarus and Russia but a decline in the Central Asian states. Pearson correlation analysis revealed statistically significant relationships between economic growth and environmental indicators in selected countries (e.g., Belarus and Kazakhstan). The study concludes that active decarbonization efforts are essential for achieving climate targets within the EAEU.
