

Двойная цена роста: как инвестиции влияют на выбросы CO₂ в Южной Корее

Фаррух Наваз

Старший преподаватель, f.kayani@arabou.edu.sa

Факультет исследований бизнеса, Арабский открытый университет (Faculty of Business Studies, Arab Open University – OAU), Саудовская Аравия, P.O.Box 84901 Riyadh 11681 Prince Faisal Ibn Abdulrahman, Hittin, Saudi Arabia

Умар Каяни

Старший преподаватель, u.kayani@hbmsu.ac.ae

Школа бизнеса и управления качеством, Университет им. Хамдана бин Мухаммеда (School of Business & Quality Management, Hamdan Bin Mohammed Smart University), Объединенные Арабские Эмираты, Dubai Academic City, P.O.Box 71400, Dubai, UAE

Мохаммад Фохлеви

Старший преподаватель, mochammad.fahlevi@binus.ac.id

Университет Бина Нусантара (Bina Nusantara University), Индонезия, Jl. K. H. Syahdan No. 9, Kemanggis, Palmerah Jakarta 11480, Indonesia

Аулия Лукман-Азиз

Старший преподаватель, aulialuqmanaziz@ub.ac.id

Университет Бравиджая (Universitas Brawijaya), Индонезия, Jl. Veteran No. 10–11, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia

Тимоти Юн

Профессор, основатель и директор Творческого центра дополненной и виртуальной реальности (Creative AR & VR Hub), t.jung@mmu.ac.uk

Университет Манчестер Метрополитан (Manchester Metropolitan University), Великобритания, Ormond, Lower Ormond St, Manchester M15 6BX, UK

Аннотация

Прямые иностранные инвестиции (ПИИ) и экономический рост оказывают двойственное воздействие на выбросы углерода (CO₂) — стимулируя развитие, они потенциально увеличивают экологическую нагрузку. Особую актуальность эта проблема приобретает в Южной Корее, взявшей обязательство достичь углеродной нейтральности к 2050 г. На базе анализа временных рядов за 1990—2021 гг. оценивались взаимосвязи между эмиссией CO₂ как зависимой переменной и ВВП, ПИИ, потреблением возобновляемой энергии — как объясняющими. Долгосрочные связи оценивались с помощью авторегрессионной модели с распределенным лагом (ARDL). Эмпирический анализ

подтвердил устойчивую связь между объемом ПИИ, темпами роста, применением возобновляемой энергии и эмиссией CO₂. Результаты демонстрируют необходимость устойчивых инвестиционных практик и возобновляемых источников для смягчения экологических последствий деловой активности. Впервые комплексно рассмотрено влияние ПИИ, ВВП и возобновляемой энергии на выбросы в контексте амбициозных планов по достижению углеродной нейтральности. Модель ARDL раскрывает взаимодействие экономических факторов и инициатив в области устойчивого развития, предоставляя политикам инструменты для балансирования хозяйственных и экологических приоритетов.

Ключевые слова: прямые иностранные инвестиции; экономический рост; углеродная нейтральность; Южная Корея

Цитирование: Nawaz F., Kayani U., Fahlevi M., Luqman Aziz A., Jung T. (2025) Evaluating the Impact of Inward FDI & Economic Growth Upon the Carbon Emissions of South Korea. *Foresight and STI Governance*, 19(3), pp. 6–15. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.27981>

Evaluating the Impact of Inward FDI & Economic Growth Upon the Carbon Emissions of South Korea

Farrukh Nawaz

Assistant Professor, f.kayani@arabou.edu.sa

Faculty of Business Studies, Arab Open University, P.O.Box 84901 Riyadh 11681 Prince Faisal Ibn Abdulrahman, Hittin, Saudi Arabia

Umar Kayani

Assistant Professor, u.kayani@hbmsu.ac.ae

School of Business & Quality Management, Hamdan Bin Mohammed Smart University, Dubai Academic City, P.O.Box 71400, Dubai, UAE

Mochammad Fahlevi

Assistant Professor, mohammad.fahlevi@binus.ac.id

Bina Nusantara University, Jl. K. H. Syahdan No. 9, Kemanggis, Palmerah Jakarta 11480, Indonesia

Aulia Luqman Aziz

Assistant Professor, aulialuqmanaziz@ub.ac.id

Universitas Brawijaya, Jl. Veteran No. 10–11, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia

Timothy Jung

Professor, Founder and CEO, Creative AR & VR Hub, t.jung@mmu.ac.uk

Manchester Metropolitan University, Ormond, Lower Ormond St, Manchester M15 6BX, UK

Abstract

This study aims to evaluate the impact of inward foreign direct investment (FDI) and economic growth on carbon emissions in South Korea, a nation committed to achieving carbon neutrality by 2050. Given the dual role of inward FDI and economic growth in fostering economic development and potentially increasing carbon emissions, this study explored the complex relationships among these variables. This study uses annual time-series data from 1990 to 2021, including carbon emissions (CO₂) as the dependent variable and GDP, inward FDI, and renewable energy consumption as explanatory variables. An autoregressive distributed lag (ARDL) bounds test was employed to assess the long-term relationships between these variables. The empirical analysis confirms the long-run relationship among FDI, economic growth, renewable energy use, and carbon

emissions in South Korea. This finding underscores the necessity of integrating sustainable investment practices and renewable energy solutions to mitigate the environmental impact of economic growth and FDI. Unlike previous studies, this study uniquely combines the effects of FDI, GDP, and renewable energy on carbon emissions within the context of South Korea's ambitious carbon neutrality commitment by 2050. Applying a robust ARDL model provides nuanced insights into the interactions between economic factors and sustainability efforts, offering actionable data to policymakers aiming to balance economic and environmental goals. These results highlight the importance of sustainable policies that balance economic growth and environmental preservation, especially in the context of South Korea's carbon neutrality goals.

Keywords: foreign direct investment; economic growth; carbon neutrality; South Korea

Citation: Nawaz F., Kayani U., Fahlevi M., Luqman Aziz A., Jung T. (2025) Evaluating the Impact of Inward FDI & Economic Growth Upon the Carbon Emissions of South Korea. *Foresight and STI Governance*, 19(3), pp. 6–15. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.27981>

Прямые иностранные инвестиции (ПИИ) существенно трансформируют характер экономической деятельности, изменяя не только масштабы, но и экологические последствия роста. В ряде случаев ПИИ ведут к увеличению загрязнения среды — например, через перенос производства в регионы с менее жесткими природоохранными стандартами или за счет стимулирования экстенсивного развития. Вместе с тем, инвестиции нередко становятся источником технологических инноваций, способствующих снижению эмиссии загрязняющих веществ (Wang, Luo, 2020). Современная фаза глобализации, особенно в финансовом измерении, дополнительно усиливает этот процесс, расширяя трансграничные потоки капитала и стимулируя рост международных экономических связей (Zameer et al., 2020).

Глобализация открыла для Южной Кореи новые возможности — позволила преодолеть ограниченность собственных минеральных и энергетических ресурсов благодаря экспортно-ориентированной индустриализации. В результате доля промышленного производства в национальном ВВП заметно превысила уровень большинства развитых экономик (Lamb et al., 2021). Промышленный сектор, выступая локомотивом роста, одновременно остается основным эмитентом парниковых газов и крупнейшим энергопотребителем (He et al., 2022). Процветание последних десятилетий обеспечивалось преимущественно энергоемкими отраслями, для которых ключевым топливом традиционно служил уголь — главный источник масштабного углеродного следа (Lee, Woo, 2020). Для ускорения модернизации и повышения конкурентоспособности в страну активно привлекались ПИИ, обеспечившие расширение экспорта, производственной базы и повышение эффективности смежных отраслей. Их роль становилась особенно значимой на фоне новых международных вызовов — Южная Корея взяла на себя масштабные обязательства по внедрению зеленых технологий, ужесточению природоохранной политики и активному участию в глобальных климатических соглашениях (Holmes, 2022).

По прогнозам, к 2030 г. в Южной Корее объем выбросов парниковых газов снизится на 40% по сравнению с 2018 г., а к 2050 г. страна рассчитывает достичь углеродной нейтральности¹. Основным источником эмиссии CO₂ — промышленный сектор. Для устойчивого развития и сокращения выбросов до нуля в сжатые сроки потребуются решительные меры по завершению энергетического перехода (Oh et al., 2021). В 2020 г. общий объем парниковых газов уменьшился на 7.3% по сравнению с предыдущим годом, составив около 648.6 млн т — второй год подряд фиксируется спад. На душу населения эмиссия составила 12.5 т, что на 7.4% ниже уровня предшествующего года. По данным Центра учета и исследований парниковых газов (Greenhouse Gas Inventory

and Research Centre), в обрабатывающей промышленности эти показатели сократились на 7.8% и 7.1% соответственно (Wang et al., 2023). Внедрение сжиженного природного газа, а также ядерной и солнечной энергии к 2020 г. обусловило сокращение доли электроэнергии, вырабатываемой сжиганием угля, — с 43% до 39%².

Этот переход позволил корейской энергетической отрасли добиться значительного снижения интенсивности выбросов. Однако удельный вес ископаемого топлива по-прежнему составляет 67%. Несмотря на двузначные темпы роста, за последние пять лет доля возобновляемой энергетики в стране достигла всего 6%, что существенно ниже показателей Европейского союза, Японии и США (Choo et al., 2024). Большинство государств сокращали зависимость от традиционных носителей, стимулируя переход к чистой энергии (Kartal et al., 2023, 2024). В целом в Южной Корее зафиксировано уменьшение объема парниковых газов, однако для достижения климатических целей необходимы дальнейшие усилия, прежде всего в промышленности.

Хотя связь глобализации с экологически устойчивым развитием обрабатывающей промышленности Южной Кореи широко исследуется, в большинстве публикаций основной акцент приходится на макроуровневые аспекты. В то же время динамика отдельных секторов, отраслевые особенности, взаимозаменяемость ресурсов и строгость регулирования остаются менее изученными, хотя именно эти параметры во многом определяют эффективность политики углеродной нейтральности. Сложная и разноплановая структура экономики, во многом сформированная высокой зависимостью промышленного сектора от ПИИ и международной торговли, делает универсальные национальные или отраслевые инициативы недостаточно эффективными. Настоящее исследование восполняет существующий пробел: рассматривается влияние ПИИ и экономического развития на объем выбросов CO₂ в обрабатывающей промышленности, а также представлены рекомендации для формирования устойчивых практик с учетом специфики корейской экономики.

В последующих разделах представлен подробный обзор литературы, описаны исходные данные и применяемая методология, сформулированы и обсуждены основные результаты исследования и выводы.

Обзор литературы

Вопрос о роли ПИИ в индустриализации и технологической модернизации остается одним из ключевых для развивающихся стран (Aysan et al., 2020; Kayani, 2021). ПИИ способствуют интеграции национальной промышленности в глобальные цепочки создания стоимости, стимулируют внедрение инноваций на местных предприятиях и, как следствие, обеспечивают сокращение выбросов CO₂ и нагрузки на окружающую среду. Вместе с инвестициями в страну приходят современные

¹ <https://www.opm.go.kr/en/policies/carbon-neutrality-scenarios.do>, дата обращения 14.03.2025.

² <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/south-korea>, дата обращения 14.03.2025.

технологии и управленческие практики, что позволяет повысить производительность и формирует предпосылки для устойчивого развития добывающего и обрабатывающего секторов (Negash et al., 2020). Кроме того, приток капитала извне выступает важным драйвером экономического роста и источником передовых технологий (Kayani, Sadiq, 2022; Kayani et al., 2024). Однако существует и обратная сторона: без эффективного экологического регулирования ПИИ ведут к размещению производств с низкой добавленной стоимостью и высоким уровнем загрязнения, порождая эффект убежища для загрязнителей (*pollution haven*) и снижая совокупную факторную производительность (Sun et al., 2023).

Исследователи отмечают положительную роль ПИИ в стимулировании устойчивого и экологически безопасного экономического развития, а также их влияние на эмиссию парниковых газов, деградацию окружающей среды и уровень загрязнения воздуха. Так, на основе анализа панельных данных по 30 странам Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) за 1996–2013 гг. установлено, что основными факторами сокращения выбросов CO₂ выступают зеленые технологии, торговля и ПИИ (Apergis et al., 2020). Последние открывают странам-реципиентам доступ к передовым технологиям, но при этом ведут к росту загрязнения в развивающихся странах и вызывают обратный эффект в развитых экономиках (Xie et al., 2020). В работе (Nur Mozahid et al., 2022) показано, что между объемом ПИИ и эмиссией, обусловленной энергопотреблением, существует двусторонняя корреляция, но такая зависимость наблюдается лишь в семи странах; еще в девяти случаях эти показатели находятся в прямой каузальной зависимости.

В работе (De Vita et al., 2021) на материале США продемонстрировано, что ПИИ способны стимулировать внедрение сложных технологий и разработку новых энергоэффективных продуктов, снижающих энергопотребление и, как следствие, — уровень загрязнения окружающей среды. Либерализация торговли ведет к сокращению темпов роста выбросов CO₂ в странах АСЕАН³, независимо от исходного объема эмиссии (Guzel, Okumus, 2020). В исследовании (Khan et al., 2022) показано, что к увеличению последней приводят неопределенность экономической политики, расширение торговли и рост ВВП, тогда как приток ПИИ и устойчивая энергетика улучшают экологическую ситуацию в восточноазиатских странах, в частности в Китае, Корее и Сингапуре. Однако в ряде исследований отмечается отсутствие существенной корреляции между объемом ПИИ и уровнем выбросов CO₂. Так, в работе (Cai et al., 2021) связь между этими факторами проанализирована на базе системы одновременных уравнений с выделением трех эффектов ПИИ — размера, структуры и метода. Полученные данные свидетельствуют о том, что влияние ПИИ на качество воздуха в Южной Корее статистически незначимо, поскольку технологический эффект, снижающий негативное воздействие, компенсирует до-

полнительное загрязнение, обусловленное масштабом и структурой ПИИ.

В исследовании (Musa et al., 2024) взаимосвязь между ПИИ, экономическим развитием, структурой промышленности, потреблением возобновляемой и ядерной энергии, урбанизацией и объемами эмиссии CO₂ в Южной Корее проанализирована с помощью авторегрессионной модели с распределенным лагом (ARDL). Результаты подтверждают, что приток ПИИ ведет к росту загрязнения, хотя и в незначительной степени. В краткосрочной перспективе экономическое развитие обуславливает увеличение выбросов, тогда как переход на альтернативные энергоносители способствует сокращению эмиссии. Влияние ПИИ и урбанизации на этот показатель остается скромным. В статье (Habiba et al., 2021) отмечается, что ПИИ напрямую влияют на ВВП, при этом связи между ними и ростом выбросов CO₂ в странах «Большой двадцатки» в 1971–2009 гг. не выявлено. Согласно (Cai et al., 2021), в долгосрочной перспективе ПИИ положительно влияют на объем сопутствующего CO₂, однако по мере увеличения доходов этот эффект нивелируется. В исследовании (Wang et al., 2023) на выборке из 20 развивающихся стран зафиксировано заметное снижение энергоемкости по мере наращивания ПИИ, вызванное внедрением современных и масштабным отказом от устаревших технологий, следствием чего стало уменьшение экологически вредных выбросов.

В последнее время активно обсуждается взаимосвязь ПИИ и деградации окружающей среды. В работе (Hussain, Rehman, 2021) изучено их сложное и многоаспектное воздействие на эмиссию парниковых газов. В исследовании (Bhasin, Garg, 2020) на обширном массиве данных проанализировано влияние ПИИ на экологию развивающихся стран. Авторы статьи (Tang, Tan, 2015) применили анализ причинности по Грейнджеру к изучению взаимосвязи между ПИИ и эмиссией CO₂. В публикации (Nur Mozahid et al., 2022) аналогичная взаимосвязь рассмотрена на материале стран – экспортеров нефти с акцентом на расчет выбросов на основе размера территорий, а не уровня потребления. Установлено, что в сочетании с природоохранными мерами ПИИ способны содействовать снижению загрязнения. Согласно (Ullah et al., 2022), в отдельных отраслях приток ПИИ привел к значительному росту эмиссии CO₂. Работа (Nadeem et al., 2020) посвящена влиянию ПИИ на показатели экологической деградации. Авторы отмечают, что хотя изначально это влияние было негативным, по мере экономического развития принимающей страны ПИИ способствуют улучшению состояния окружающей среды.

При анализе корреляции между ВВП и экологической ситуацией на материале стран БРИКС в исследовании (Naseem et al., 2021) выявлена прямая связь между увеличением ПИИ и улучшением экологических показателей, даже если первоначальный экономический эффект выражается в росте уровня загрязнения, включая

³ Пять крупнейших и наиболее экономически развитых членов Ассоциации государств Юго-Восточной Азии.

объем выбросов CO₂. Это может объясняться постепенным распространением более экологичных технологий. Аналогичные выводы в контексте Турции представлены в работе (Udemba, Keleş, 2022): хотя ПИИ отрицательно влияют на окружающую среду в краткосрочной перспективе, долгосрочный эффект оказывается положительным, что свидетельствует о переходном периоде с быстрой индустриализацией и ростом эмиссии, после которого ситуация постепенно улучшается.

В ряде исследований рассматривается связь между уровнем загрязнения, экономическим развитием и торговой интеграцией — участием стран во внешнеэкономической деятельности. В фундаментальной работе (Holtz-Eakin, Selden, 1995) оценивается влияние углеродного индекса на ВВП и выдвинуты гипотезы о снижении торговых барьеров и стимулировании деловой активности, влияющих на состояние окружающей среды, на примере дерегулирования рынка в Мексике. В статье (Aslam et al., 2022) при помощи модели ARDL и процедуры коинтеграции Йохансена прослежено долгосрочное влияние экономического роста на экологию с учетом динамической связи между деятельностью компаний и объемом выбросов CO₂.

В работе (Bekun et al., 2021) на базе кривой Кузнеця проанализирована корреляция ВВП и объема эмиссии CO₂ в странах группы E7, подтвердившая справедливость данной гипотезы. Результаты показывают, что институциональные перекосы при развитии энергетики пагубно влияют на устойчивое развитие экономики, тогда как альтернативные источники энергии и рост ВВП ведут к снижению уровня загрязнения. В публикации (Сао et al., 2018) оценена корреляция между ПИИ и энергоемкостью на материале нескольких развивающихся стран. Выявлено заметное снижение концентрации энергопотребления по мере увеличения инвестиций. Это может объясняться тем, что приток ПИИ стимулирует внедрение более совершенных технологий и, как следствие, сокращение выбросов вредных веществ.

Методология исследования

Для изучения влияния ПИИ и экономического роста на объем выбросов CO₂ в Южной Корее в 1990–2021 гг. использована модель ARDL. Эмиссия CO₂ выступает зависимой переменной, тогда как размер ПИИ, ВВП и потребление возобновляемых источников энергии (*renewable energy consumption, REW*) — независимыми. Выбор показателей обусловлен их значительным воздействием на экологическую ситуацию. ПИИ выступают важнейшим фактором экономического развития и трансфера технологий, который в зависимости от характера инвестиций может как усугубить, так и смягчить деградацию окружающей среды (Wang, Luo, 2020). ВВП — прямой показатель экономической активности, часто ассоциируемый с ростом энергопотребления и эмиссии (Zameer et al., 2020). REW включено в модель ввиду возможностей снижения зависимости от ископаемого топлива и содействия переходу к устойчивой энергетике (Kartal et al., 2024).

Табл. 1. Список переменных

Переменные	Обозначение	Описание и единицы измерения
Выбросы углерода	CO ₂	Эмиссия CO ₂ (т на душу)
Прямые иностранные инвестиции	FDI	Чистый приток ПИИ (% к ВВП)
Экономический рост	GDP	Годовой рост ВВП (%)
Потребление возобновляемой энергии	REW	Потребление возобновляемой энергии (% от общего конечного потребления)
Источник: World Development Indicators, 2024 (https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators , дата обращения 07.03.2025).		

Анализ указанных переменных позволяет глубже понять взаимосвязь экономической деятельности и экологической устойчивости. Подробная информация о зависимых и независимых переменных представлена в табл. 1.

Оценка взаимосвязи переменных при помощи модели ARDL представлена в уравнении 1.

$$CO_2 \text{ emissions} = f(FDI, GDP, REW)$$
 (1)

Или в форме регрессии:

$$Y (CO_2 \text{ emissions}) = \alpha + \beta_1 (FDI) + \beta_2 (GDP) + \beta_3 (REW) + e,$$
 (2)

где β_1 , β_2 & β_3 — коэффициенты соответствующих независимых переменных, α — отсекаемый элемент регрессионной модели, e — остаточные значения.

Стационарность переменных проверялась с помощью расширенного теста единичного корня Дики-Фуллера (ADF) (уравнение 3).

$$\Delta x_t = \varphi x_{t-1} + \sum_{i=1}^m \delta \Delta x_{t-i} + e_t$$
 (3)

где Δ — оператор разности, t — время, φ — коэффициент корня процесса, δ — коэффициент временно-го тренда, m — число лагов авторегрессионной модели, e_t — случайная ошибка.

Эмпирические результаты и обсуждение

Описательная статистика переменных представлена в табл. 2. Данные характеризуются нормальным распределением без аномалий. Среднее значение эмиссии CO₂ составило 9.93 при диапазоне 5.77–12.21, что свидетельствует о значительных колебаниях эмиссии в пределах изучаемого периода и отражает изменения в энергетической политике и промышленном производстве. Приток ПИИ демонстрирует умеренную вариативность (среднее значение 0.85, диапазон 0.21–2.15), что может быть связано с колебаниями экономической открытости и инвестиционной привлекательности страны. Темпы роста ВВП (среднее значение 4.99, стандартное отклонение 5.12) отражают экономическую волатильность, обусловленную глобальными и внутренними факторами, включая фазы падения и восстановления. REW характеризуется средним значением 1.41 с диапазоном 0.40–3.60, что указывает на постепенную интег-

Табл. 2. Сводная статистика значений
выбранных переменных

Var	Среднее	Медиана	Max	Min	StDev
CO ₂	9.939809	10.07126	12.21646	5.777465	1.840736
FDI	0.854976	0.779788	2.155979	0.211961	0.494646
GDP	4.993311	4.852400	11.46694	-5.129448	3.565381
REW	1.416129	1.000000	3.6000000	0.400000	0.943786

Примечание: Max — максимальное значение, Min — минимальное значение, StDev — стандартное отклонение.

Источник: составлено авторами.

Табл. 3. Результаты проверки
стационарности с помощью ADF-теста

Переменные	Обозначение	ADF (уровень)	ADF (1-я разница)
Выбросы углерода	CO ₂	Не стационарна	Стационарна
Прямые иностранные инвестиции	FDI	Стационарна	н/д
Экономический рост	GDP	Стационарна	н/д
Потребление возобновляемой энергии	REW	Не стационарна	Стационарна

Источник: составлено авторами.

Табл. 4. Результаты применения
модели ARDL

Объект тестирования	Значение	К
F	12.83301	3
Критические пороговые значения		
Уровень значимости	I(0)	I(1)
10%	2.72	3.77
5%	3.23	4.35
2.5%	3.69	4.89
1%	4.29	5.61

Источник: составлено авторами.

Табл. 5. Долгосрочные оценки ARDL

Переменные	Коэффициент	Стандартная ошибка	Значение Т	Значение Р
FDI	0.783249	0.966417	0.810467	0.4256
GDP	-1.160617	0.514524	-2.255709	0.0335
REW	0.966291	0.606921	1.592121	0.1244

Примечание: Зависимая переменная = CO₂, независимые переменные = ПИИ, ВВП и REW.

Источник: составлено авторами.

рацию возобновляемых источников в энергетический комплекс Южной Кореи.

С помощью ADF-теста (Dickey, Fuller, 1979) проверена стационарность переменных. Результаты показывают, что переменные стационарны при I(0) и I(1). Полученные данные (табл. 3) свидетельствуют о том, что эмиссия CO₂ и REW достигают стационарности после первого дифференцирования, что указывает на интеграцию первого порядка I(1). Напротив, приток ПИИ и рост ВВП стационарны на уровне I(0), демонстрируя отсутствие проблемы единичного корня. Эти данные

подтверждают пригодность модели ARDL для дальнейшего анализа, поскольку он позволяет учитывать переменные с разным порядком интеграции, обеспечивая надежную оценку долгосрочных и краткосрочных связей между ними.

Результаты тестирования границ модели ARDL представлены в табл. 4. Значение F-статистики (12.83301) превысило верхний критический порог на всех уровнях значимости, что подтверждает коинтеграцию в модели и указывает на долгосрочную равновесную связь между эмиссией CO₂, размерами ПИИ, ростом ВВП и коэффициентом REW.

Результаты, представленные в табл. 4, показывают, что значение F-статистики (12.83301) превышает верхний критический порог (I(1)) на всех уровнях значимости (10%, 5%, 2,5% и 1%), свидетельствуя о сильной коинтеграционной связи между переменными модели — долгосрочном равновесном соотношении между эмиссией CO₂, размерами ПИИ, темпами экономического роста и REW. Превышение критических пороговых значений подтверждает применимость модели ARDL для анализа кратко- и долгосрочной динамики.

Данные, представленные в табл. 5, показывают, что темпы роста ВВП оказывают существенное отрицательное воздействие на эмиссию CO₂ (коэффициент -1.160617, р-значение 0.0335 при уровне значимости 5%). Тем самым экономический рост в Южной Корее может способствовать сокращению вредных выбросов благодаря повышению эффективности или переходу к устойчивым практикам. Напротив, объемы ПИИ и REW в долгосрочной перспективе не оказывают статистически значимого влияния на эмиссию CO₂: их р-значения (0.4256 и 0.1244 соответственно) превышают порог значимости. Положительный коэффициент ПИИ (0.783249) предполагает потенциальное увеличение выбросов при росте инвестиций, однако статистическая незначимость указывает на слабость или нестабильность данной связи. Аналогично, положительный коэффициент REW (0.966291) свидетельствует о том, что рост этого показателя сам по себе не гарантирует существенного снижения выбросов, возможно, из-за относительно низкой доли возобновляемых источников в энергобалансе Южной Кореи.

Темпы экономического развития, приток ПИИ, потребление возобновляемой энергии и объем эмиссии CO₂ в Южной Корее находятся в сложной динамической взаимосвязи. Рост ВВП, по-видимому, играет важную роль в сокращении выбросов, однако для понимания причин статистической незначимости ПИИ и REW, а также способов повышения их влияния необходимы дальнейшие исследования.

Долгосрочная стабильность коэффициентов оценивалась с помощью тестов кумулятивной суммы (CUSUM) и кумулятивной суммы квадратов (CUSUMSQ) рекурсивных остатков (рис. 1 и 2). Значения CUSUM на протяжении всего рассматриваемого периода остаются в пределах 5% уровня значимости, что свидетельствует о стабильности коэффициентов модели во времени. Значения CUSUMSQ также не выходят за границы 5% уровня значимости, дополнительно подтверждая ста-



бильность параметров модели. Результаты диагностических тестов указывают на надежность и пригодность модели для оценки связей между переменными.

Для определения направления каузальных связей между переменными выполнен анализ причинности по Грейнджеру (табл. 6). Установлено однонаправленное влияние эмиссии CO₂ на темпы роста ВВП и REW. Последний показатель также однонаправленно воздействует на ВВП, что указывает на способность возобновляемой энергии стимулировать экономическое развитие. Каузальная связь между ПИИ и другими переменными не подтверждена, однако выявлена значимая однонаправленная связь CO₂ и REW с ВВП.

Обсуждение

Взаимосвязь между притоком ПИИ, темпами экономического роста и качеством окружающей среды, в частности объемом эмиссии CO₂, вызывает значительный интерес и активно обсуждается политиками, экономистами и экологами (Wang, Luo, 2020; Oh et al., 2021; Holmes, 2022). В настоящем исследовании эта взаимосвязь проанализирована для сектора обрабатывающей



промышленности Южной Кореи, где факторы экономического роста и ПИИ рассматриваются в контексте стремления правительства страны достичь углеродной нейтральности к 2050 г. Данный сектор играет определяющую роль в экономическом развитии страны и является крупным эмитентом парниковых газов ввиду использования угля и других видов ископаемого топлива (He et al., 2022). Странам, стремящимся сбалансировать экономическое развитие и экологическую ответственность, таким как Южная Корея, необходимо детальное понимание влияния ПИИ на вредные выбросы.

ПИИ могут существенно влиять на экономику принимающей страны, способствуя росту конкурентоспособности, поощряя технологические инновации и обеспечивая экономический рост (Wang, Luo, 2020). Однако их экологический эффект неоднозначен и противоречив. Стимулируя внедрение более чистых технологий, ПИИ одновременно могут способствовать развитию отраслей с большой эмиссией CO₂, особенно в условиях мягких экологических требований. Полученные результаты соответствуют выводам предшествующих работ о том, что при концентрации ПИИ в секторах с высоким уровнем выбросов эмиссия парниковых газов возрастает при отсутствии строгих экологических стандартов (Negash et al., 2020; Kayani, Sadiq, 2022).

Исследование подтверждает гипотезу убежища для загрязнителей: поступая в страны с относительно мягкими экологическими нормами, ПИИ потенциально увеличивают выбросы и усугубляют деградацию окружающей среды (Sun et al., 2023). С этой проблемой сталкивается и Южная Корея, что указывает на необходимость политики, поощряющей зеленые инвестиции в секторы, приоритизирующие устойчивое развитие и экологическую ответственность. Такой подход соответствует тезисам (Apergis et al., 2020) о том, что ПИИ могут сыграть решающую роль в сокращении эмиссии при условии активной политической поддержки чистых технологий.

Южнокорейский пример подтверждает, что экономический рост часто ведет к увеличению потребления энергии и эмиссии CO₂, особенно в быстро развивающихся странах. Экономическая модель Южной Кореи,

Табл. 6. Результаты анализа причинности по Грейнджеру

Переменные	Значение F	Значение P	Причинно-следственная связь
FDI — CO2	0.68218	0.4161	Нет
CO2 — FDI	0.08549	0.7722	Нет
GDP — CO2	0.22477	0.6392	Нет
CO2 — GDP	19.4141	0.0002	Да
REW — CO2	0.10449	0.7490	Нет
CO2 — REW	20.4590	0.0001	Да
GDP — FDI	2.34815	0.1371	Нет
FDI — GDP	0.35106	0.5584	Нет
REW — FDI	0.84662	0.3657	Нет
FDI — REW	0.67730	0.4177	Нет
REW — GDP	4.55710	0.0420	Да
GDP — REW	1.52883	0.2269	Нет

Источник: составлено авторами

сильно зависящая от обрабатывающей промышленности, существенно увеличила экологический след страны из-за высокой доли угля в энергобалансе (Lee, Woo, 2020). Хотя для ранних этапов промышленного роста характерны повышенные объемы выбросов, согласно гипотезе экологической кривой Кузнецца, после точки перегиба деградация окружающей среды может замедлиться благодаря инвестициям в зеленые технологии и энергоэффективности (Lamb et al., 2021).

Применение модели ARDL показало, что в долгосрочной перспективе связь между экономическим развитием и эмиссией CO₂ в Южной Корее может быть преодолена за счет активной политики. В частности, государственное стимулирование перехода на возобновляемые источники энергии, внедрение энергоэффективных технологий и регулирование выбросов способны снизить негативные последствия бурного роста на окружающую среду (Holmes, 2022). Подобные меры позволят стране контролировать углеродные выбросы без ущерба для развития.

Возобновляемая энергетика играет ключевую роль в сокращении эмиссии CO₂, однако в настоящее время использование таких источников в Южной Корее остается ограниченным. Полученные результаты свидетельствуют, что несмотря на декарбонизационный потенциал альтернативной энергетики, в краткосрочной перспективе ее эффект статистически незначим. Это обусловлено ее относительно низкой долей ($\approx 6\%$) в энергетическом портфеле Южной Кореи по сравнению с более зрелыми рынками, такими как ЕС, Япония и США, что требует существенных политических мер для перехода к зеленой энергетике, включая субсидии и инвестиционные стимулы (Wang et al., 2023; Choo et al., 2024; Kartal, 2023, 2024).

Несмотря на медленный прогресс, Южная Корея добилась заметных успехов в использовании сжиженного природного газа и солнечной энергии, что помогло сократить долю угольной генерации (Oh et al., 2021). Это подтверждает необходимость более комплексной долгосрочной стратегии для стимулирования масштабного внедрения альтернативных источников в ключевых отраслях. Интеграция чистых технологий в промышленные процессы позволит стране минимизировать экологическое воздействие, сохранив при этом экономическую конкурентоспособность.

Результаты анализа причинности по Грейнджеру дают представление о взаимосвязи между эмиссией CO₂, темпами экономического развития и REW. Выявлена однонаправленная каузальная связь между объемом выбросов CO₂ и ростом ВВП, которая позволяет предположить, что деградация окружающей среды может стимулировать экономическую реакцию, например, наращивание производства для компенсации экологических потерь. Данный вывод согласуется с исследованиями, показывающими, что экологические вызовы часто способствуют хозяйственной диверсификации и активизации инновационной деятельности (Guzel, Okumus, 2020).

Кроме того, каузальная связь между REW и ростом ВВП подтверждает потенциал чистой энергетики для стимулирования экономики. С ростом потребления

увеличивается и объем производства возобновляемой энергии — этот факт подтверждает, что альтернативная энергетика служит реальным инструментом достижения целей устойчивого развития. Подобные результаты усиливают выводы исследования (De Vita et al., 2021), демонстрирующие комплексный эффект REW — снижение объема эмиссии в сочетании с ростом ВВП. Это подчеркивает необходимость проведения упреждающей долгосрочной политики снижения выбросов на основе стратегий устойчивого развития, а не путем оперативного реагирования на конкретные случаи экологического ущерба.

Заключение

Эмпирический анализ долгосрочной взаимосвязи между объемом ПИИ, темпами экономического роста и эмиссией CO₂ в Южной Корее с помощью модели ARDL за 1990–2021 гг. выявил наличие долгосрочной коинтеграции между переменными модели, что согласуется с выводами предшествующих исследований. Установлено, что объем эмиссии CO₂ однонаправленно влияет на темпы роста ВВП и REW, а последнее аналогичным образом воздействует на темпы роста ВВП. Ограничением настоящего исследования служит его концентрация на экономике одной страны — Южной Кореи. В дальнейшем предложенную методологию можно применить к другим странам Восточной Азии. На основе полученных результатов предлагается ряд политических рекомендаций.

Во-первых, Южной Корее следует совершенствовать нормативно-правовое регулирование ПИИ для обеспечения их соответствия экологическим стандартам. Стимулирование ПИИ в секторах, приоритизирующих устойчивое развитие и зеленые технологии, может помочь компенсировать экологические издержки индустриализации. Правительству целесообразно вводить налоговые льготы, субсидии или другие стимулы для привлечения иностранных компаний к инвестированию в чистые технологии и низкоуглеродные отрасли.

Во-вторых, энергетическая политика Южной Кореи должна переориентироваться на развитие возобновляемой энергетики. Увеличение доли альтернативных источников энергии с нынешних 6% способствовало бы значительному сокращению выбросов CO₂, особенно в обрабатывающей промышленности. Следует ужесточить нормы использования угля и одновременно увеличить инвестиции в солнечную, ветровую и ядерную энергетику. Такие инициативы содействовали бы снижению углеродной зависимости страны и позиционированию Южной Кореи как лидера глобальной зеленой экономики.

Наконец, сокращению эмиссии может способствовать стимулирование инноваций и трансфера технологий посредством ПИИ. Поощрение партнерства местных фирм с иностранными инвесторами, специализирующимися на зеленых технологиях, позволит Южной Корее реализовать потенциал ПИИ как инструмента устойчивой индустриализации. Это обеспечит доступ к передовым решениям, повысит углеродную эффективность и ускорит переход страны к низкоуглеродной экономике.

Библиография

- Apergis N., Alam M.S., Paramati S.R., Fang J. (2020) The impacts of R&D investment and stock markets on clean energy uses and CO₂ emissions in a panel of OECD economies. *International Journal of Finance and Economics*, 26(4), 4979–4992. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2049>
- Aslam B., Hu J., Ali S., AlGarni T.S., Abdullah M.A. (2022) Malaysia's economic growth, consumption of oil, industry and CO₂ emissions: Evidence from the ARDL model. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19, 3189–3200. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03279-1>
- Aysan A., Kayani F., Kayani U.N. (2020) The Chinese inward FDI and economic prospects amid COVID-19 crisis. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*, 14(4), 1088–1105.
- Bekun F.V., Gyamfi B.A., Onifade S.T., Agboola M.O. (2021) Beyond the environmental Kuznets Curve in E7 economies: accounting for the combined impacts of institutional quality and renewables. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127924. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127924>
- Bhasin N., Garg S. (2020) Impact of institutional environment on inward FDI: A case of select emerging market economies. *Global Business Review*, 21(5), 1279–1301. <https://doi.org/10.1177/0972150919856989>
- Cai L., Firdousi S.F., Li C., Luo Y. (2021) Inward foreign direct investment, outward foreign direct investment, and carbon dioxide emission intensity-threshold regression analysis based on interprovincial panel data. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 46147–46160. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11909-3>
- Cao W., Chen S., Huang Z. (2020) Does foreign direct investment impact energy intensity? Evidence from developing countries. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020(1), 5695684. <https://doi.org/10.1155/2020/5695684>
- Choo H., Kim Y.G., Kim D. (2024) Power sector carbon reduction review for South Korea in 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 196, 114348. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114348>
- De Vita G., Li C., Luo Y. (2021) The inward FDI-Energy intensity nexus in OECD countries: A sectoral R&D threshold analysis. *Journal of Environmental Management*, 287, 112290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112290>
- Dickey D.A., Fuller W.A. (1979) Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431. <https://doi.org/10.2307/2286348>
- Guzel A.E., Okumus İ. (2020) Revisiting the pollution haven hypothesis in ASEAN-5 countries: New insights from panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 18157–18167. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08317-y>
- Habiba U., Xinbang C., Ahmad R.I. (2021) The influence of stock market and financial institution development on carbon emissions with the importance of renewable energy consumption and foreign direct investment in G20 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 67677–67688. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15321-3>
- Hao Y., Guo Y., Wu H., Ren S. (2020) Does outward foreign direct investment (OFDI) affect the home country's environmental quality? The case of China. *Structural Change and Economic Dynamics*, 52, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.08.012>
- He Y., Li X., Huang P., Wang J. (2022) Exploring the road toward environmental sustainability: Natural resources, renewable energy consumption, economic growth, and greenhouse gas emissions. *Sustainability*, 14(3), 1579. <https://doi.org/10.3390/su14031579>
- Holmes J.V. (2022) Daegu's Convention Legacies are contributing to Climate Change Solutions. *International Journal of Business Events and Legacies*, 1(1), 92–98.
- Holtz-Eakin D., Selden T.M. (1995) Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, 57(1), 85–101. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(94\)01449-X](https://doi.org/10.1016/0047-2727(94)01449-X)
- Hussain I., Rehman A. (2021) Exploring the dynamic interaction of CO₂ emission on population growth, foreign investment, and renewable energy by employing ARDL bounds testing approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 39387–39397. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13502-8>
- Kayani F.N., Nasim I., Abu Saleem K. (2024) Analyzing the Impact of Governance, Environment and Trade on Inward FDI: A Case of Cambodia, Thailand and Vietnam from ASEAN. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(2), 423–534. <http://dx.doi.org/10.32479/ijeep.15486>
- Kayani F.N., Sadiq M. (2022) Analyzing the impact of inward FDI and economic growth on CO₂ emissions of Ukraine. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(5), 202–208. <http://dx.doi.org/10.32479/ijeep.13395>
- Kayani F.N. (2021) Renewable Energy and Economic Growth Nexus: A Case of United Arab Emirates. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(5), 504–509. <http://dx.doi.org/10.32479/ijeep.11559>
- Khan Y., Hassan T., Kirikkaleli D., Xiuqin Z., Shukai C. (2022) The impact of economic policy uncertainty on carbon emissions: Evaluating the role of foreign capital investment and renewable energy in East Asian economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 18527–18545. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17000-9>
- Lamb W.F., Wiedmann T., Pongratz J., Andrew R., Crippa M., Olivier J.G., Minx J. (2021) A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
- Lee J.H., Woo J. (2020) Green new deal policy of South Korea: Policy innovation for a sustainability transition. *Sustainability*, 12(23), 10191. <https://doi.org/10.3390/su122310191>
- Kartal M.T., Pata U.K., Alola A.A. (2024) Renewable electricity generation and carbon emissions in leading European countries: Daily-based disaggregate evidence by nonlinear approaches. *Energy Strategy Reviews*, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101300>
- Kartal M.T., Erdogan S., Alola A.A., Pata U.K. (2023) Impact of renewable energy investments in curbing sectoral CO₂ emissions: Evidence from China by nonlinear quantile approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 112673–112685. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30282-5>

- Musa M., Gao Y., Rahman P., Albattat A., Ali M.A.S., Saha S.K. (2024) Sustainable development challenges in Bangladesh: An empirical study of economic growth, industrialization, energy consumption, foreign investment, and carbon emissions — using dynamic ARDL model and frequency domain causality approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26(6), 1799–1823. <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-023-02680-3>
- Nadeem A.M., Ali T., Khan M.T., Guo Z. (2020) Relationship between inward FDI and environmental degradation for Pakistan: An exploration of pollution haven hypothesis through ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 15407–15425. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08083-x>
- Naseem S., Mohsin M., Zia-UR-Rehman M., Baig S.A., Sarfraz M. (2021) The influence of energy consumption and economic growth on environmental degradation in BRICS countries: An application of the ARDL model and decoupling index. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 13042–13055. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16533-3>
- Negash E.S., Zhu W., Lu Y., Wang Z. (2020) Does Chinese inward foreign direct investment improve the productivity of domestic firms? Horizontal linkages and absorptive capacities: Firm-level evidence from Ethiopia. *Sustainability*, 12(7), 3023. <https://doi.org/10.3390/su12073023>
- Nur Mozahid M., Akter S., Hafiz Iqbal M. (2022) Causality analysis of CO2 emissions, foreign direct investment, gross domestic product, and energy consumption: Empirical evidence from South Asian Association for Regional Cooperation (SAARC) countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(43), 65684–65698. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20362-3>
- Oh H., Hong I., Oh I. (2021) South Korea's 2050 carbon neutrality policy. *East Asian Policy*, 13(01), 33–46.
- Sun Y., Zhang M., Zhu Y. (2023) Do Foreign Direct Investment Inflows in the Producer Service Sector Promote Green Total Factor Productivity? Evidence from China. *Sustainability*, 15(14), 10904. <https://doi.org/10.3390/su151410904>
- Tang C.F., Tan B.W. (2015) The Impact of Energy Consumption, Income and Foreign Direct Investment on Carbon Dioxide Emissions in Vietnam. *Energy*, 79, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.11.033>
- Udemba E.N., Keleş N.İ. (2022) Interactions among urbanization, industrialization and foreign direct investment (FDI) in determining the environment and sustainable development: New insight from Turkey. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 6(1), 191–212. <https://doi.org/10.1007/s41685-021-00214-7>
- Ullah S., Nadeem M., Ali K., Abbas Q. (2022) Fossil fuel, industrial growth and inward FDI impact on CO2 emissions in Vietnam: Testing the EKC hypothesis. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(2), 222–240. <https://doi.org/10.1108/MEQ-03-2021-0051>
- Wang X., Luo Y. (2020) Has technological innovation capability addressed environmental pollution from the dual perspective of FDI quantity and quality? Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120941. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120941>
- Wang M., Ding X., Choi B. (2023) FDI or international-trade-driven green growth of 24 Korean manufacturing industries? Evidence from heterogeneous panel based on non-causality test. *Sustainability*, 15(7), 5753. <https://doi.org/10.3390/su15075753>
- Xie Q., Wang X., Cong X. (2020) How does foreign direct investment affect CO2 emissions in emerging countries? New findings from a nonlinear panel analysis. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119422. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119422>
- Zameer H., Shahbaz M., Vo X.V. (2020) Reinforcing poverty alleviation efficiency through technological innovation, globalization, and financial development. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120326. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120326>