

DOI: 10.15838/esc.2023.5.89.15

УДК 330.15:502.335, ББК 65.28

© Дургун Ф., Даянир А.

К проблеме изучения взаимосвязи между экономическим ростом, человеческим капиталом и качеством окружающей среды

**Фунда ДУРГУН**Университет Диджле
Диярбакыр, Турция

e-mail: funda.uncu@dicle.edu.tr

ORCID: 0000-0001-7254-227X

**Азиз ДАЯНИР**Стамбульский университет
Стамбул, Турция

e-mail: aziz.dayanir@istanbul.edu.tr

ORCID: 0000-0001-7279-1487

Аннотация. Различные виды антропогенной деятельности, приводящие к выбросу парниковых газов, усугубляют проблемы, связанные с изменением климата. Растущая необходимость смягчения пагубных последствий глобального потепления привлекает внимание к ухудшающему экологии воздействию ископаемого топлива. В нашем эмпирическом исследовании на основе данных за 1990–2019 гг. изучается взаимосвязь между человеческим капиталом Китая (hcs), ростом ВВП ($lgdp$), энергоемкостью (lei) и ухудшением состояния окружающей среды ($lco2$). Анализируются макроэкономические данные по Китаю; для анализа коинтеграции используется тест Байера – Ханка, а для анализа причинности – тест Тода – Ямамото. Коинтеграционный анализ показывает, что существует коинтегрированная зависимость между $lco2$, hcs , $lgdp$ и lei .

Для цитирования: Дургун Ф., Даянир А. (2023). К проблеме изучения взаимосвязи между экономическим ростом, человеческим капиталом и качеством окружающей среды // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 16. № 5. С. 262–278. DOI: 10.15838/esc.2023.5.89.15

For citation: Durgun F., Dayanir A. (2023). Revisiting the linkages between economic growth, human capital and environmental quality. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 16(5), 262–278. DOI: 10.15838/esc.2023.5.89.15

Согласно результатам FMOLS-анализа, рост энергоемкости, ВВП и уровня человеческого капитала приводит к увеличению выбросов углекислого газа в долгосрочной перспективе. Повышение энергоэффективности благоприятно сказывается на состоянии окружающей среды, а экономический рост и увеличение человеческого капитала оказывают неблагоприятное воздействие на экологическую обстановку. Тест причинности Тода – Ямамото позволил получить результаты, свидетельствующие о наличии причинно-следственных связей между человеческим капиталом и объемом выбросов углерода, а также между человеческим капиталом и энергоемкостью. Более того, было замечено, что первая переменная оказывает однонаправленное влияние на вторую. Также существует однонаправленная причинно-следственная связь всех переменных с объемом выбросов углерода, ростом ВВП и энергоемкости соответственно.

Ключевые слова: экономический рост, человеческий капитал, Китай, выбросы CO₂, коинтеграция Байера – Ханка.

Введение

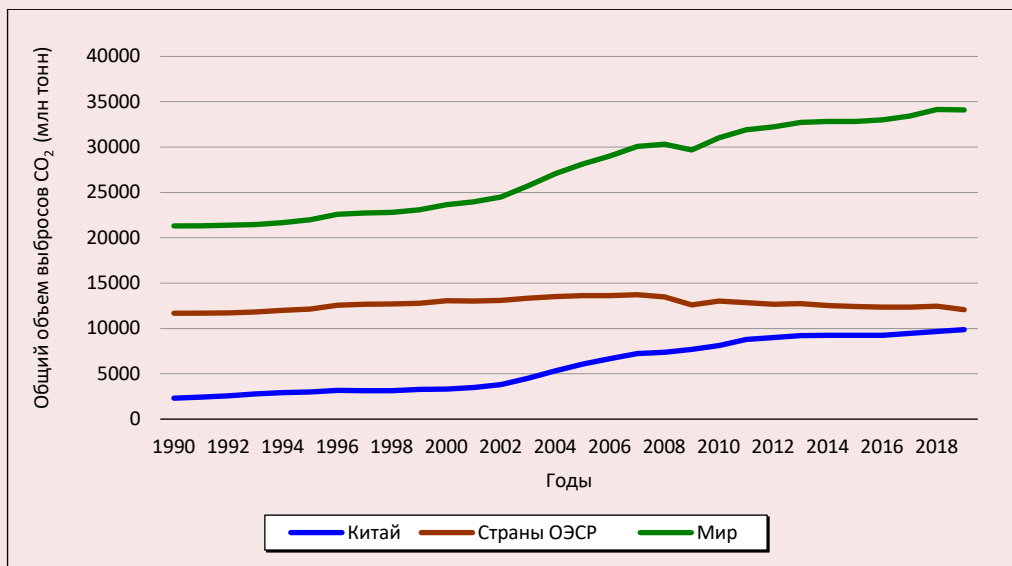
Ухудшение состояния окружающей среды в первую очередь связано с загрязнением парниковыми газами в результате человеческой деятельности. Наибольшая часть антропогенных выбросов появляется в ходе производства продукции с использованием энергии, получаемой из ископаемого топлива. Проблемам глобального потепления и изменения климата по-прежнему уделяется значительное внимание в современном научном дискурсе, причем важное место отведено экологическим последствиям поведения человека и, следовательно, вопросам антропогенного загрязнения окружающей среды. Поэтому необходимо понимать взаимосвязи ухудшения состояния окружающей среды с ростом экономики и другими факторами, вызывающими экологические проблемы. Снижение антропогенных выбросов стало актуальным вопросом и для политиков, поскольку требуется решать экологические проблемы и обеспечивать устойчивое развитие экономики. Наибольшую долю среди выбросов парниковых газов составляют выбросы CO₂. Основной целью стран в процессе экономического роста является увеличение объемов производства, поэтому начиная с 1990-х гг. экологические проблемы приобрели глобальный масштаб. Наиболее заметными среди них являются безответственное потребление природных ресурсов, уменьшение площади зеленых зон и глобальное потепление. Последнее, ввиду быстрого и масштабного воздействия, вышло на первое место в списке проблем, требующих решения. Объем

выбросов парниковых газов в результате антропогенной деятельности, являющихся важным фактором, способствующим глобальному потеплению, продолжает возрастать с каждым годом (рис. 1, 2). По данным BP Statistics, в период с 1990 по 2019 год общий мировой объем выбросов CO₂ от энергетики и глобальный объем выбросов углерода на душу населения увеличились на 60 и 10% соответственно¹.

Начиная с 1990-х гг. рост выбросов CO₂ в результате антропогенной деятельности в новых индустриальных странах был более значительным, чем в промышленно развитых (Kasman, Duman, 2015). Среди новых индустриальных стран Китай является наиболее важным и крупным государством, использующим ископаемое топливо в производстве и выбрасывающим большой объем CO₂. За последние тридцать лет экономика Китая пережила значительный период роста, что привело к чрезмерным выбросам CO₂ и, как следствие, к ухудшению окружающей среды. В 2019 году в Китае, который с 2006 года является крупнейшим в мире эмитентом CO₂, было выброшено в атмосферу около 9868,5 млн т углекислого газа. Общий объем выбросов углерода в Китае увеличился с 10,8% от общемирового показателя в 1990 году до 28,9% в 2019 году. По данным BP Energy Statistics, годовой темп роста выбросов CO₂ в Китае за

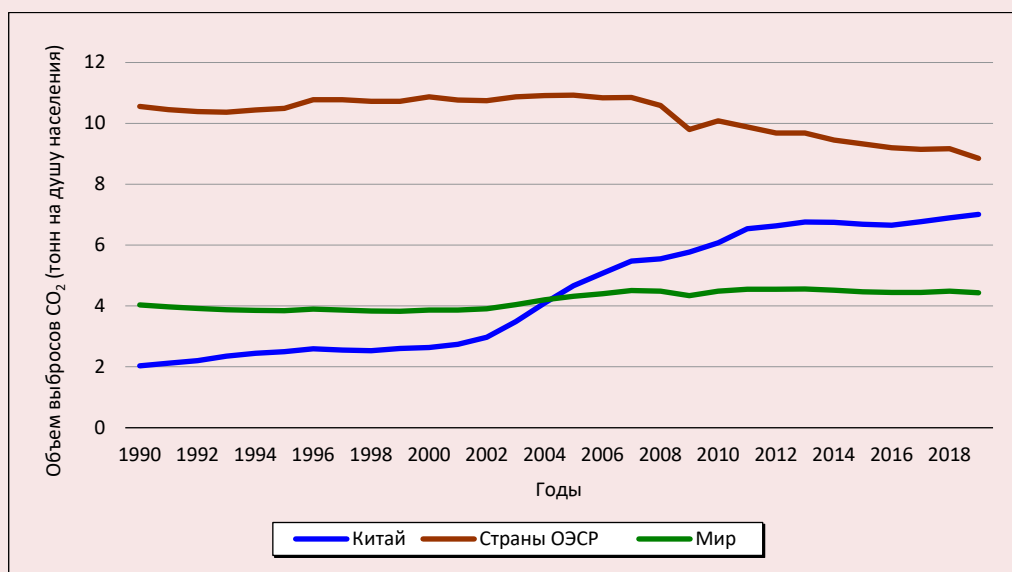
¹ BP Statistical Review of World Energy (2022). Data on Carbon Dioxide Emissions from Energy. URL: <http://www.bp.com/statisticalreview> (дата обращения 19.08.2022).

Рис. 1. Общий объем выбросов CO₂



Источник: BP Statistical Review of World Energy (2022). Data on Carbon Dioxide Emissions from Energy. URL: <http://www.bp.com/statisticalreview> (дата обращения 28.12.2022).

Рис. 2. Объем выбросов CO₂ на душу населения



Источник: BP Statistical Review of World Energy (2022). Data on Carbon Dioxide Emissions from Energy. URL: <http://www.bp.com/statisticalreview> (дата обращения 28.12.2022).

период с 1990 по 2019 год составил 10,9%². С 1990 по 2019 год разрыв по общему объему выбросов CO₂ между Китаем и странами ОЭСР сокращается (см. рис. 1), т. к. за этот период (несмотря на небольшое снижение в последние годы) суммарный объем выбросов CO₂ в странах ОЭСР практически не изменился, а в Китае – возрос почти в четыре раза.

На рисунке 2 показано, как продолжает сокращаться разрыв в уровне выбросов CO₂ на душу населения между Китаем и государствами ОЭСР. Объем выбросов углекислого газа на душу населения в Китае превышает средние показатели по всем остальным странам. Несмотря на снижение среднего уровня выбросов CO₂ на душу населения в странах ОЭСР, на 10%-ный рост мировых выбросов на душу населения повлияло значительное увеличение выбросов в Китае. Китай официально вступил в ВТО в декабре 2001 года (Teng, 2004), что привело к росту производства в стране за счет реализации стратегии развития, ориентированной на экспорт, и увеличению с этого времени как общего объема выбросов CO₂, так и выбросов на душу населения.

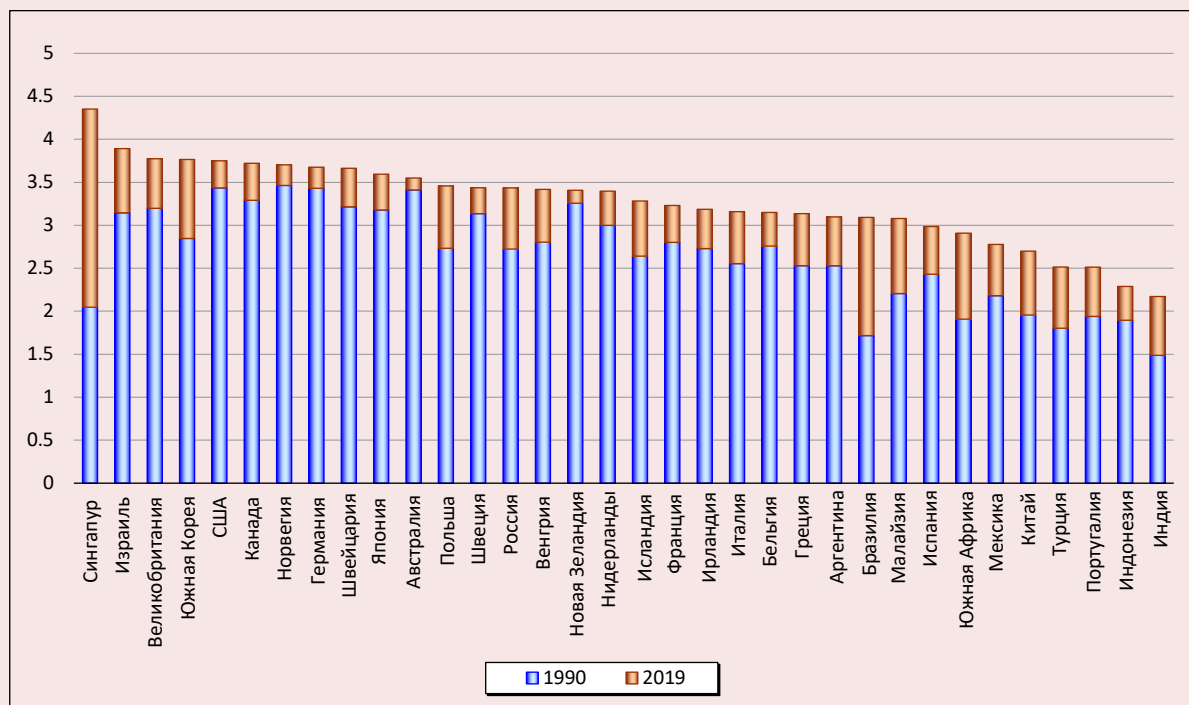
Данные, представленные на рисунках 1 и 2, отражают влияние мирового экономического спада на ситуацию в Китае, странах ОЭСР и других регионах мира. Глобальный экономический кризис 2008 года серьезно затронул мировую экономику и страны ОЭСР, но в меньшей степени Китай. По состоянию на 2008 год выбросы CO₂ снизились в странах ОЭСР и оставались стабильными в мире из-за сокращения производства. В Китае же такого снижения уровня выбросов из-за экономического кризиса 2008 года не произошло.

Для борьбы с загрязнением окружающей среды важно применять как традиционные, так и нетрадиционные методы. Один из нетрадиционных методов включает рассмотрение человеческого капитала. Многочисленные исследования показывают, что рост

человеческого капитала уменьшает выбросы углекислого газа. В литературе подчеркивается, что инвестиции в образование способствуют снижению выбросов CO₂. Предполагается, что высокообразованные люди будут использовать продукцию с низким уровнем выбросов CO₂. Регионы со значительным объемом человеческого капитала, а значит, и технологического потенциала могут способствовать улучшению экологической обстановки, поскольку в них могут применяться сложные технологии (Lan et al., 2012). Потребители с более высоким уровнем дохода тратят больше средств на «зеленые» товары, но при этом требуют соблюдения правил защиты окружающей среды (Dinda, 2004; Aytun, Akın, 2016). Высокообразованные и талантливые люди почти всегда зарабатывают больше других (Becker, 1994). Люди с растущими доходами больше заботятся об экологии, поэтому регуляторы работают более эффективно, а уровень деградации окружающей среды снижается (Dinda, 2004). Доказано, что выделение ресурсов на развитие человеческого капитала приводит к повышению производительности труда и служит катализатором экономического роста. Существует очень мало примеров стран, которые пережили период устойчивого экономического развития без значительных инвестиций в рабочую силу. Результаты большинства исследований, в которых предпринимаются попытки количественного анализа движущих сил экономического роста, показывают, что инвестиции в человеческий капитал играют важную роль (Becker, 1994). Число исследований и разработок, направленных на улучшение состояния окружающей среды, растет по мере увеличения дохода (Komen et al., 1997). Утверждается, что качественный человеческий капитал важен для технологического прогресса (Vandenbussche et al., 2006). По мере развития технологического прогресса старые технологии, загрязняющие окружающую среду, заменяются новыми и более чистыми, которые положительно влияют на качество окружающей среды (Dinda, 2004).

² BP Statistical Review of World Energy (2022). Data on Carbon Dioxide Emissions from Energy. URL: <http://www.bp.com/statisticalreview> (дата обращения 19.08.2022).

Рис. 3. Индекс человеческого капитала в отдельных странах



Источник: Feenstra R.C., Inklaar R., Timmer M.P. (2015). The next generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, 105(10), 3150–3182.

Как видно на рисунке 3, уровень человеческого капитала в Китае не очень высок, страна по этому показателю отстает от многих промышленно развитых государств. Хотя с 1990 по 2019 год уровень человеческого капитала в Китае увеличился более чем в два раза, этого недостаточно для того чтобы догнать промышленно развитые страны.

Основная цель исследования – изучить возможное влияние инвестиций в человеческий капитал как нетрадиционного метода решения проблемы загрязнения воздуха путем снижения выбросов CO_2 . Анализ взаимосвязи между индексом человеческого капитала, являющимся комплексным инструментом оценки уровня образования, и качеством окружающей среды позволит разработать предложения в сфере политики. Несмотря на то, что во многих работах рассматривалась взаимосвязь между уровнем образования в стране и его влиянием на состояние окружающей среды, в научной литературе нет единого мнения относительно конкретного направления влияния человеческого

капитала на ухудшение экологической обстановки. Различные результаты были получены в моделях, разработанных путем добавления разных контрольных переменных. Нами в качестве контрольной переменной используется энергоёмкость. Для этого применяется тест Байера – Ханка.

Работа состоит из следующих разделов: первый раздел содержит обзор литературы, посвященной взаимосвязи человеческого капитала и выбросов углекислого газа; затем рассматриваются данные и методология; далее представлены основные результаты исследования и их обсуждение; в конце статьи приводятся некоторые практические рекомендации для Китая.

Обзор литературы

В последние годы значительно увеличилось число научных исследований, посвященных факторам, влияющим на здоровье населения. Литература по качеству окружающей среды очень обширна, поскольку изучаемые страны или группы стран, используемые эконометрические методы и разрабатываемые модели

существенно отличаются друг от друга. Насколько нам известно, преобладающий массив исследований, посвященных изучению влияния человеческого капитала на качество окружающей среды, дал результаты, свидетельствующие о наличии положительной корреляции между уровнем образования и качеством окружающей среды. Однако многочисленные работы показывают, что повышение уровня человеческого капитала либо ухудшает состояние окружающей среды, либо не оказывает на него существенного влияния.

Например, Danish et al. с помощью модели авторегрессии с распределенным лагом провели анализ взаимосвязи между ростом ВВП Пакистана, экологическим следом, биоразнообразием и уровнем образования в период с 1971 по 2014 год. Показано, что инвестиции в образование не приводят к существенному увеличению экологического следа (Danish et al., 2019). Используя модель STIRPAT, Yao et al. оценили влияние уровня образования на выбросы CO₂ в странах ОЭСР в период с 1870 по 2014 год и пришли к выводу, что инвестиции в образование потенциально могут служить эффективным средством снижения выбросов углекислого газа (Yao et al., 2020).

В работе Khan проанализирована гипотеза ЕКС для 122 стран в период с 1980 по 2014 год с помощью модели Хансена. Обнаружено, что после определенного порогового уровня объем выбросов CO₂ снижается с ростом человеческого капитала (Khan, 2020). В исследовании (Hao et al., 2021) используются данные по странам G-7, собранные с 1991 по 2017 год, и перекрестная расширенная модель авторегрессии с распределенным лагом для анализа связи между человеческим капиталом и выбросами углекислого газа. Ученые пришли к выводу, что инвестиции в человеческий капитал помогают окружающей среде, поскольку способствуют снижению выбросов углекислого газа (Hao et al., 2021). Mahmood и соавторы исследовали влияние возобновляемых источников энергии и роста ВВП в Пакистане с 1980 по 2014 год на выбросы CO₂ с помощью человеческого капитала и обнаружили, что более эффективное использование человеческого капитала может способствовать снижению количества углекислого газа, попадающего в окружающую среду (Mahmood et al., 2019). В ходе исследо-

вания Beuene, в котором применялась модель STIRPAT по отношению к 38 африканским странам за период с 2000 по 2018 год, выявлена положительная нелинейная связь между индексом развития человеческого потенциала и состоянием окружающей среды (Beuene, 2022). Khan et al. изучили данные по семи странам ОЭСР за период с 1990 по 2018 год с помощью модели CS-ARDL, показав, что более высокий уровень человеческого капитала связан с более низким уровнем выбросов углекислого газа и ухудшением качества окружающей среды (Khan et al., 2021).

Используя метод квантильной регрессии с панельными данными, Chen и соавторы исследовали факторы экологического следа в 110 странах. Согласно их выводам человеческий капитал первоначально приводит к увеличению экологического следа, а впоследствии способствует его уменьшению. Кроме того, в странах с высоким уровнем дохода с ростом человеческого капитала деградация окружающей среды уменьшается, в то время как в странах с низким уровнем дохода — увеличивается (Chen et al., 2021).

Aytun и Akin исследовали причинно-следственные связи между ухудшением состояния окружающей среды, человеческим капиталом и энергопотреблением в Турции, проанализировав данные с 1971 по 2010 год. Результаты метода бутстреп показали отсутствие связи между количеством поступивших в начальную или среднюю школу и загрязнением воздуха, в то время как существует причинно-следственная связь между человеческим капиталом и ухудшением состояния окружающей среды (Aytun, Akin, 2016). В исследовании по Пакистану Li и соавторы изучили влияние экономического неравенства на качество окружающей среды с учетом глобализации и человеческого капитала за период 1980–2015 гг. и отметили, что человеческий капитал способствует загрязнению окружающей среды (Li et al., 2022).

Ahmed и Wang проанализировали влияние человеческого капитала на экологический след Индии в период с 1971 по 2014 год с помощью коинтеграционного теста и теста с авторегрессией и распределенным лагом (ARDL), выявив, что улучшение человеческого капитала способствует повышению качества окружающей среды за счет снижения экологического следа как в

краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе (Ahmed, Wang, 2019). Iorember и соавторы изучили взаимосвязь между человеческим капиталом и качеством окружающей среды в Южной Африке в период 1990–2016 гг. на основе коинтеграционных тестов Маки, модели с авторегрессией и распределенным лагом (ARDL) и тестов причинности VECM и пришли к выводу, что развитие человеческого капитала необходимо для улучшения экологической ситуации в Южной Африке за счет снижения экологического следа (Iorember et al., 2021).

В исследовании, основанном на данных по 16 странам Центральной и Восточной Европы за период с 1991 по 2014 год, Shujah-Ur-Rahman и соавторы показали, что накопление человеческого капитала способствует уменьшению экологического следа, что приводит к улучшению качества окружающей среды (Shujah-Ur-Rahman et al., 2019).

Pata и Caglar на данных по Китаю с 1980 по 2016 год проанализировали, как реальный ВВП на душу населения, уровень образования, глобализация, использование возобновляемых источников энергии и открытость торговли влияют на качество окружающей среды. Они выяснили, что темпы деградации окружающей среды в долгосрочной перспективе снижаются с ростом уровня человеческого капитала в стране (Pata, Caglar, 2021). Li и Ouyang также рассмотрели влияние уровня образования на качество воздуха, используя данные по Китаю за период с 1978 по 2015 год, с применением ARDL подхода. Результаты показали, что связь между человеческим капиталом и выбросами CO₂ имеет нелинейный характер: вначале с ростом человеческого капитала уровень выбросов CO₂ снижался (до 1992 года), затем начал увеличиваться и, наконец, снижается в долгосрочной перспективе (Li, Ouyang, 2019).

Zafar и соавторы исследовали влияние человеческого капитала на экологический след в США за 1970–2015 гг. с помощью модели ARDL и обнаружили, что повышение качества человеческого капитала улучшает состояние экологии за счет уменьшения экологического следа (Zafar et al., 2019). Jun et al., используя панельные данные по провинциям Китая за 1996–2008 гг. для изучения связи между экономическим неравенством и выбросами CO₂ с учетом чело-

веческого капитала с помощью трехступенчатого метода наименьших квадратов, пришли к выводу, что при наличии качественного человеческого капитала объем выбросов в Китае снижается и неравенство доходов уменьшается (Jun et al., 2011). Используя набор данных по 11 странам ЕС с переходной экономикой за период с 2000 по 2018 год, Bayar и соавторы исследовали потенциальную взаимосвязь между уровнем человеческого капитала и повышением качества окружающей среды, в частности за счет сокращения выбросов CO₂. Они выяснили, что более высокий уровень человеческого капитала значительно снижает выбросы CO₂ в некоторых странах, но увеличивает их в ряде других государств (Bayar et al., 2022). Sarkodie и др. изучили факторы, влияющие на деградацию окружающей среды в Китае с 1961 по 2016 год, с помощью динамической ARDL-модели и выявили, что рост человеческого капитала оказывает положительное влияние на экологический след Китая (Sarkodie et al., 2020). В исследовании, проведенном Zhang и соавторами, использовалась динамическая ARDL-модель для изучения влияния природных ресурсов, человеческого капитала и роста ВВП на экологический след и выбросы углерода в Пакистане в период с 1985 по 2018 год. Была обнаружена положительная взаимосвязь между человеческим капиталом, выбросами CO₂ и экологическим следом в краткосрочном периоде. Кроме того, в долгосрочной перспективе человеческий капитал отрицательно коррелирует с выбросами CO₂ и положительно — с экологическим следом (Zhang et al., 2021).

В 2021 году Williamson исследовал взаимосвязь между образованием, государственной структурой и выбросами углекислого газа и метана в 181 стране и пришел к выводу, что объем выбросов CO₂ снижается с ростом человеческого капитала, но только после достижения определенных пороговых уровней человеческого капитала (Williamson, 2017). Hassan и соавторы изучили влияние человеческого капитала на экологическую обстановку в Пакистане в период 1970–2014 гг. с помощью теста пределов ARDL и отметили, что человеческий капитал не оказывает статистически значимого влияния на экологический след в Пакистане (Hassan et al., 2019).

Таким образом, в ходе обзора литературы нами рассмотрено 22 исследования, в которых изучалась связь между уровнем образования и состоянием окружающей среды. Вкратце можно сказать, что существуют различные точки зрения относительно влияния уровня образования на экологическую обстановку в стране.

Методы

Эмпирическая база исследования предполагает, что на деградацию окружающей среды влияют энергоёмкость, экономический рост и человеческий капитал. Для выявления связи между переменными использовались методы анализа временных рядов. Во-первых, для определения уровней стационарности рядов применялся тест на единичный корень Квятковского и др. (Kwiatkowski et al., 1992). Затем был использован тест на коинтеграцию, предложенный Байером и Ханком (Bayer, Hanck, 2012), для определения наличия долгосрочной связи между указанными переменными. Долгосрочные параметры оценивались методом FMOLS. Для определения наличия или отсутствия причинно-следственной связи между переменными применялся тест причинности Toda – Ямамото (Toda, Yamamoto, 1995).

Тест единичного корня KPSS

Тест единичного корня KPSS, впервые предложенный авторами Kwiatkowski, Phillips, Schmidt и Shin (Kwiatkowski et al., 1992), представляет гипотезу, противоположную той, которую отражают стандартные тесты единичного корня. При наличии детерминированного тренда тест KPSS предлагается в качестве средства проверки нулевой гипотезы о том, что наблюдаемый ряд является стационарным. В тесте KPSS ряд состоит из трех структур, представляет собой комбинацию детерминированного тренда, случайного блуждания и стационарной ошибки. Тест LM используется для проверки нулевой гипотезы о том, что дисперсия случайного блуждания равна нулю в рамках теста KPSS (Kwiatkowski et al., 1992, p. 159).

Модель:

$$Y_t = \beta + \delta t + \alpha_t + \varepsilon_t, \alpha_t = \text{постоянная}, \alpha_t = \alpha_{t-1} + u_t, u_t \sim WN(0, \sigma_\varepsilon^2) \text{ (Kozhan, 2010, p. 74).}$$

Критические значения, используемые для проверки гипотез в тесте KPSS, были получены с помощью множителя Лагранжа и

$$KPSS = \frac{\left(\frac{1}{T^2} \sum_{t=1}^T \hat{S}_t^2\right)}{\hat{\lambda}^2}.$$

Уравнение $\hat{S}_t = \sum_{j=1}^t \hat{\varepsilon}_j$, $\hat{\varepsilon}_t$, t и $\hat{\lambda}_t^2$ представляет собой остаток регрессии на $a(t)$.

Альтернативная гипотеза предполагает, что ряд является нестационарным и содержит единичный корень, в отличие от нулевой гипотезы, которая предполагает, что ряд является стационарным и не содержит единичного корня.

Комбинированный коинтеграционный тест Байера – Ханка

Комбинированный коинтеграционный тест Байера – Ханка (Bayer, Hanck, 2012) предлагает комбинированные процедуры, оценивающие несколько тестов вместе для получения более сильных тестов (метатестов) путем объединения результатов нескольких научных исследований. В первой версии теста, разработанной в 2008 году, использовались метод Энгла – Грейнджера (Engle, Granger, 1987) и тест Йохансена (Johansen, 1988), а версия, разработанная в 2012 году, включает также тесты Босвейка (Boswijk, 1994), Банерджи и др. (Banerjee et al., 1998), основанные на коррекции ошибок. Тестовая статистика получается путем сложения значений вероятностей коинтеграционных тестов, рассчитанных с помощью χ^2 -теста Фишера (Fisher, 1932; Bayer, Hanck, 2012):

$$\chi_1^2 = -2 \sum_{i \in I} \ln(p_i), \text{ где } p_i \text{ представляет значения } p \text{ каждого теста или}$$

$$\begin{aligned} EG - JOH &= -2[\ln(p_{EG}) + \ln(p_{JOH})] \\ EG - JOH - BO - BDM &= -2[\ln(p_{EG}) + \ln(p_{JOH}) + \\ &+ \ln(p_{BO}) + \ln(p_{BDM})]. \end{aligned}$$

Значения вероятностей (p) коинтеграционных тестов Энгла–Грейнджера, Йохансена, Босвейка и Банерджи представлены как $p_{EG}, p_{JOH}, p_{BO}, p_{BDM}$ соответственно (Govindaraju, Tang, 2013).

Нулевая гипотеза теста указывает на отсутствие коинтеграции, а альтернативная гипотеза – на наличие коинтеграции.

FMOLS

Метод FMOLS применяется для оценки долгосрочных коэффициентов при условии, что ряды демонстрируют коинтеграцию. Для того чтобы метод работал, необходимо сначала рассчитать ошибки регрессии (w_t) независимых переменных, а затем, используя метод наименьших квадратов, определить коинтегрированные ошибки регрессии (ε_t). Затем следует рассчитать долгосрочную ковариационную матрицу (A) от ошибок регрессии независимых переменных и ковариационную матрицу (Ω) от ошибок регрессии независимых переменных. Для устранения проблемы эндогенности к зависимой переменной необходимо применить преобразование. Полученные оценки FMOLS выглядят следующим образом:

$$\hat{\theta}_{FMOLS} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta} \end{bmatrix} = \left(\sum_{t=1}^T S_t Y_t^+ - T \hat{\gamma}_{12}^+ \right) \left(\sum_{t=1}^T S_t S_t' \right)^{-1} \quad (\text{Phillips, Hansen, 1990}).$$

Pedroni также рассмотрел метод FMOLS в своей работе, опубликованной в 2001 году (Pedroni, 2001). С помощью моделирования он получил последовательные, асимптотически несмещенные и нормально распределенные результаты анализа и пришел к выводу, что метод FMOLS будет давать хорошие результаты и на малых выборках.

Тест причинности Toda – Ямамото

Тест причинности Toda – Ямамото основан на модели VAR и, в отличие от классического теста причинности Грейнджера, не выявляет стационарность и коинтеграционную связь в рядах. Перед проведением теста необходимо определить оптимальную длину лага VAR-модели и максимальный уровень интеграции в ряду. Здесь должно выполняться условие $d_{max} \leq k$, чтобы не учитывать разность переменных и тем самым предотвратить потерю информации за счет включения в анализ переменных на уровне (Toda, Yamamoto, 1995).

Модель выглядит следующим образом:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \lambda_{1i} Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \lambda_{2i} X_{t-1} + \varepsilon_{1t} \quad (1)$$

$$X_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \gamma_{1i} X_{t-1} + \sum_{i=1}^{k+d_{max}} \gamma_{2i} Y_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (2)$$

Для проведения анализа необходимо сначала рассчитать VAR-модель с длиной лага ($k + d_{max}$), а затем рассчитать параметры. Однако при применении теста Toda – Ямамото к стационарному ряду на уровне в VAR-модель не могут быть добавлены запаздывающие переменные, поэтому полученная тестовая статистика совпадает с тестом причинности Грейнджера на основе VAR-модели.

Гипотеза уравнения 1 теста:

$H_0: \lambda_{2i} = 0$ X не является причиной Y по Грейнджеру.

$H_1: \lambda_{2i} \neq 0$ X является причиной Y по Грейнджеру.

Гипотеза уравнения 2 теста:

$H_0: \gamma_{2i} = 0$ Y не является причиной X по Грейнджеру.

$H_1: \gamma_{2i} \neq 0$ Y является причиной X по Грейнджеру.

Здесь тестовая статистика гипотез вычисляется с помощью теста Вальда, который подчиняется распределению χ^2 с k степенями свободы (при условии, что $i \leq k$) (Toda, Yamamoto, 1995).

Данные

В исследовании изучается влияние расширения производства, энергоемкости и человеческого капитала на загрязнение окружающей среды углекислым газом в Китае в период 1990–2019 гг. Используются данные о выбросах углерода для показателя деградации окружающей среды, данные о реальном ВВП для показателя экономического роста, данные о потреблении первичной энергии на выпуск продукции для показателя энергоемкости и данные об индексе человеческого капитала для показателя человеческого капитала. Показатели эмиссии углерода и роста доходов были пересчитаны на душу населения. Перед включением в модель рассчитаны натуральные логарифмы переменных. Подробная информация о переменных приведена в *таблице 1*. Функциональная модель, используемая в исследовании, имеет вид:

$$lco2 = f(lei, lgdp, lhc)$$

$$lco2_t = \beta_0 + \beta_1 lei_t + \beta_2 lgdp_t + \beta_3 lhc_t + \varepsilon_t.$$

Таблица 1. Используемые переменные

Переменная	Определение	Единица измерения	Источник
<i>lco2</i>	Выбросы углекислого газа	Млн т углекислого газа на душу населения	BP Statistical Review of World Energy, World Bank WDI (Population)
<i>lei</i>	Интенсивность потребления первичной энергии	Эксаджоули (ВВП – постоянный показатель за 2015 год в долларах США)	BP Statistical Review of World Energy, World Bank WDI (GDP)
<i>lgdp</i>	ВВП на душу населения	ВВП на душу населения (постоянный показатель за 2015 год в долларах США)	World Bank, World Development Indicators
<i>lhc</i>	Индекс человеческого капитала	Основано на количестве лет обучения в школе и выгоде от вложения средств в образование	PennWorld Table 10.0

В модели β_0 представляет собой постоянный член или автономный коэффициент, β_1 , β_2 и β_3 обозначают коэффициенты независимых переменных, а ϵ_t – член ошибки. Положительные коэффициенты β_1 , β_2 и β_3 указывают на то, что качество окружающей среды ухудшается по мере роста энергоемкости, дохода или человеческого капитала, а отрицательные коэффициенты β_1 , β_2 и β_3 свидетельствуют, что рост энергоемкости, дохода или

уровня образования снижает уровень загрязнения.

Описательная статистика и корреляционная матрица рядов приведены в *таблице 2*. Каждый из рядов, содержащих данные за 30 лет, имеет нормальное распределение. Все переменные сильно коррелируют друг с другом. Переменная *lei* отрицательно коррелирует со всеми переменными. Остальные корреляции положительные.

Таблица 2. Описательная статистика и корреляционная матрица

	<i>lco2</i>	<i>lei</i>	<i>lgdp</i>	<i>lhc</i>
Наблюдения	30	30	30	30
Среднее	1.396010	2.755635	8.100115	0.854279
Медиана	1.478849	2.744280	8.077781	0.870074
Максимум	1.941460	3.329926	9.232913	0.992877
Минимум	0.716422	2.296033	6.807969	0.670941
Стандартное отклонение	0.460667	0.278626	0.753663	0.089956
Асимметрия	-0.091036	0.323727	-0.082661	-0.407844
Экссесс	1.282113	2.500363	1.738759	2.280940
Тест Харке – Бера	3.730356	0.836043	2.022575	1.477994
Вероятность	0.154869	0.658348	0.363750	0.477593
<i>lco2</i>	1.000000			
<i>lei</i>	-0.854411	1.000000		
<i>lgdp</i>	0.974300	-0.948065	1.000000	
<i>lhc</i>	0.924358	-0.978356	0.979951	1.000000

Источник: составлено авторами.

Результаты

Прежде чем приступить к исследованию долговременной взаимосвязи между переменными, необходимо убедиться в их стационарности. Для анализа стационарности используется тест на единичный корень KPSS. Из *таблицы 3* видно, что рассчитанная тестовая статистика для значений уровня превышает 5%-ное и 10%-ное критические значения. В результате нулевая гипотеза о стационарности ряда отвергается. При проведении дифференцирования нулевая гипотеза не может быть отвергнута, так как рассчитанные тестовые статистики ниже критических значений. Иными словами, анализ показывает, что ряд имеет единичный корень на уровне, а его первые разности обладают стационарностью. Следовательно, необходимо

выяснить, существует ли долговременная связь между переменными. Интеграция переменных на уровне $I(1)$ позволяет применить коинтеграционный тест Байера – Ханка.

При анализе временных рядов результаты тестов чувствительны к длине лага. Поэтому перед проведением коинтеграционного теста важно определить подходящую длину лага. В *таблице 4* приведены результаты оценки VAR-модели. Согласно всем информационным критериям, подходящая длина лага определяется как 2.

В *таблице 5* представлены результаты коинтеграционного теста Байера – Ханка. Согласно статистике отдельных тестов, коинтегрированная связь была обнаружена только в тестах Йохансена и Босвика. Нулевая гипотеза,

Таблица 3. Анализ единичного корня

	<i>lco2</i>	<i>lei</i>	<i>lgdp</i>	<i>lhc</i>
I(0)	0.673141	0.674352	0.712530	0.702510
I(1)	0.139412	0.151816	0.272310	0.341069
1%	0.739			
5%	0.463			
10%	0.347			
Источник: составлено авторами.				

Таблица 4. Выбор длины лага

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	155.9806	NA	2.27e-10	-10.85576	-10.66544	-10.79758
1	391.8342	387.4738	3.48e-17	-26.55959	-25.60801	-26.26868
2	440.9588	66.66907*	3.54e-18*	-28.92563*	-27.21280*	-28.40200*
Примечание: * представляет уровень значимости в 10%. Источник: составлено авторами.						

Таблица 5. Результаты коинтеграционного теста Байера – Ханка

Расчетные модели	Engle – Granger	Johansen	Banerjee et al.	Boswijk	EG-J	EG-J-BA-BO
$lco2=f(lei, lgdp, lhc)$	-3.2392 (0.4586)	34.1885 (0.0196)	-2.2132 (0.7203)	29.2102 (0.0023)	9.4236052 *	22.229473 **
$lei=f(lco2, lgdp, lhc)$	-3.5709 (0.2896)	34.1885 (0.0196)	-3.3516 (0.2331)	31.8766 (0.0009)	10.342961 *	27.281768 **
$lgdp=f(lco2, lei, lhc)$	-3.4407 (0.3529)	34.1885 (0.0196)	-2.4390 (0.6304)	32.0999 (0.0008)	9.9475925 *	25.132192 **
$lhc=f(lco2, lei, lgdp)$	-4.2980 (0.0643)	34.1885 (0.0196)	-4.4299 (0.0225)	45.7574 (0.0000)	13.352843 **	76.203365 ***
Примечание: *, ** и *** представляют уровень значимости в 10%, 5% и 1% соответственно. В круглых скобках даны показатели значимости. Критические значения 1%, 5% и 10% для теста EG-J составляют 16263, 10711, 8352 соответственно; критические значения 1%, 5% и 10% для теста EG-J-BA-BO составляют 31742, 20788 и 16239 соответственно. Источник: рассчитано авторами.						

предполагающая отсутствие коинтеграции, отвергается на основании результатов, полученных по тесту EG-J и тесту EG-J-BA-BO. Также было установлено наличие коинтегрированной связи в моделях, где зависимыми переменными являются рост, энергоёмкость и человеческий капитал. Полученные результаты свидетельствуют о наличии коинтегрированной зависимости между $lco2$, lei , $lgdp$ и lhc . Другими словами, между этими переменными существует долгосрочная зависимость.

После определения наличия коинтегрированной связи между факторами необходимо выяснить коэффициенты их долговременной связи. В таблице 6 приведены результаты оценки, полученные с помощью метода FMOLS. Статистическая значимость наблюдалась для всех переменных в модели. Согласно полученным результатам, выбросы углерода увеличиваются на 1,25% на каждый 1% роста энергоёмкости, на 1,38% на каждый 1% роста ВВП и на 1,32% на каждый 1% роста человеческого капитала. Все переменные в модели имеют положительную связь с выбросами углерода,

что свидетельствует о растущем влиянии. Если повышение энергоэффективности влияет на экологию положительно, то рост объемов производства и уровня образования оказывают негативное влияние на качество окружающей среды.

Модель коррекции ошибок строится путем добавления в модель запаздывающих значений остатков, полученных при оценке долгосрочных коэффициентов. Модель коррекции ошибок, отражающая кратковременную динамику в исследовании, выглядит следующим образом:

$$\Delta lco2_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_{1i} \Delta lco2_{t-i} + \sum_{i=0}^n \alpha_{2i} \Delta lei_{t-i} + \sum_{i=0}^p \alpha_{3i} \Delta lgdp_{t-i} + \sum_{i=0}^q \alpha_{4i} \Delta lhc_{t-i} + \beta ECT_{t-1} + \varepsilon_t.$$

В приведенном уравнении Δ , α_0 , β и ε_t обозначают разностный оператор, постоянный член, член коррекции ошибок и член ошибки соответственно. Результаты оценки модели коррекции ошибок приведены в таблице 7. Все коэффициенты в модели значимы на уровне 10%. Влияние независимых переменных на

Таблица 6. Долговременный анализ

Показатель	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	Вероятность
lei	1.255213	0.050302	24.95356	0.0000
$lgdp$	1.384287	0.063256	21.88376	0.0000
lhc	1.328164	0.261181	5.085225	0.0000
c	-13.77963	0.507668	-27.14300	0.0000
@trend	-0.043432	0.005916	-7.341792	0.0000
R2	0.999415			

Источник: рассчитано авторами.

Таблица 7. Анализ краткосрочной динамики

Показатель	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	Вероятность
Δlei	1.209813	0.049130	24.62493	0.0000
$\Delta lgdp$	1.266015	0.064732	19.55768	0.0000
Δlhc	0.578302	0.294373	1.964520	0.0617
$ect(-1)$	-0.265227	0.144540	-1.834978	0.0795
c	-0.027580	0.006269	-4.399177	0.0002
R2	0.982282			
Тест Харке – Бера	2.129068			0.3448
LM-тест Бройша – Годфри	2.626693			0.2689
BPG-тест на гетероскедастичность	2.330506			0.6752
RESET-тест Рамсея	0.004112			0.9495
CUSUM-тест	Стабилен			
CUSUMQ-тест	Стабилен			

Источник: составлено авторами.

Таблица 8. Тест причинности Тода – Ямамото

	Хи-квадрат	Разница	Вероятность
$lhc \rightarrow lco2$	12.69879	2	0.0017
$lgdp \rightarrow lco2$	0.812548	2	0.6661
$lei \rightarrow lco2$	1.294541	2	0.5235
All \rightarrow lco2	15.89347	6	0.0143
$lco2 \rightarrow lhc$	3.885790	2	0.1433
$lgdp \rightarrow lhc$	3.298155	2	0.1922
$lei \rightarrow lhc$	4.336021	2	0.1144
All \rightarrow lhc	5.604208	6	0.4690
$lco2 \rightarrow lgdp$	0.836165	2	0.6583
$lhc \rightarrow lgdp$	3.995740	2	0.1356
$lei \rightarrow lgdp$	0.659725	2	0.7190
All \rightarrow lgdp	15.92684	6	0.0142
$lco2 \rightarrow lei$	2.175016	2	0.3371
$lhc \rightarrow lei$	9.230317	2	0.0099
$lgdp \rightarrow lei$	2.007678	2	0.3665
All \rightarrow lei	12.63654	6	0.0492

Источник: составлено авторами.

зависимые переменные положительно как в кратковременном, так и в долгосрочном периоде. Член коррекции ошибок, отражающий скорость корректировки краткосрочных дисбалансов, оказался отрицательным и значимым. Соответственно, 26% неравновесия, возникающего в кратковременном периоде, рассеивается к следующему периоду, приближаясь к долгосрочному равновесию. Результаты диагностического тестирования модели коррекции ошибок также отражены в таблице 7. Согласно полученным результатам, члены ошибки имеют нормальное распределение, проблемы автокорреляции и гетероскедастичности отсутствуют. Также отсутствует ошибка спецификации модели, а коэффициенты стабильны.

Для проверки причинно-следственной связи между переменными используется тест причинности Тода – Ямамото. В таблице 8 приведены результаты VAR-анализа, где соответствующая длина лага равна 2, а максимальная степень интеграции – 1. Согласно этим результатам, установлена односторонняя причинно-следственная связь от человеческого капитала к выбросам углерода и от человеческого капитала к энергоёмкости. Кроме того, существует односторонняя причинно-следственная связь от всех переменных к выбросам углерода, экономическому росту и энергоёмкости по отдельности.

В Китае приоритет экономического роста и быстрая индустриализация привели к тому, что экологические проблемы отошли на второй план. Несовершенство природоохранного законодательства и неоптимальные практики природопользования вызвали рост загрязнения и ухудшение состояния окружающей среды. Предполагается, что образование будет способствовать повышению экологической грамотности и сохранению окружающей среды. Однако часто наблюдается положительная связь между более высоким уровнем образования, ростом заработной платы и уровнем использования ресурсов. Такое явление может привести к росту энергопотребления и истощению природных ресурсов, а значит, и к экологическому ущербу. Кроме того, часто наблюдается положительная корреляция уровня образования и роста промышленности с развитием технического прогресса, что влечет за собой повышение загрязнения и ухудшение экологии (Нои, 2022).

Заключение

В исследовании рассматривалось влияние уровня образования, энергоэффективности и развития производства на ухудшение экологической обстановки в Китае в период с 1990 по 2019 год. Результаты эконометрического анализа свидетельствуют о наличии значимой корреляции между переменными в долгосрочном периоде. Показатели эластичности свидетель-

ствуют о том, что каждый из трех независимых факторов в долговременном периоде оказывает пагубное влияние на состояние окружающей среды. Увеличение ВВП также приводит к росту выбросов углерода, поскольку повышается потребление энергии, которая выступает основным источником производства. Такая зависимость является ожидаемым результатом для Китая, где уровень использования возобновляемых источников энергии невысок. Результат анализа энергоемкости оказался соответствующим ожидаемому результату. Как и предполагалось, увеличение энергоемкости, которая также является показателем энергоэффективности, т. е. увеличения количества первичной энергии, потребляемой на единицу продукции, приводит к ухудшению состояния окружающей среды и росту выбросов углерода. Развитие человеческого капитала в Китае, где его уровень ниже по сравнению с развитыми странами, приводит к увеличению выбросов углерода. В научных источниках в отношении к развитым странам обычно утверждается, что инвестиции в образование способствуют улучшению состояния окружающей среды. Однако сравнительно низкий уровень человеческого капитала в Китае в процессе развития не располагает механизмом повышения качества окружающей среды. При сопоставлении результатов кратковременного и долговременного анализа можно увидеть, что эластичности также совпали с результатами долгосрочного анализа. При анализе причинно-следственных связей было установлено, что накопление человеческого капитала вызывает увеличение выбросов углерода.

Эти результаты дают полезную информацию для разработки образовательной и экологической политики Китая. В ходе исследования было установлено, что повышение уровня образования в Китае приводит к снижению качества окружающей среды. Следовательно, необходимо уделять больше внимания защите экологии. Другим методом улучшения качества окружающей среды в Китае является повышение эффективности использования энергии. Поскольку снижение энергоемкости напрямую уменьшает количество вредных выбросов, то повышение энергоэффективности может дать быстрые результаты. Одним

из эффективных способов снижения энергоемкости выступает увеличение доли энергии, получаемой из возобновляемых источников, в общем объеме потребления. Несмотря на высокие первоначальные затраты, использовать возобновляемые источники энергии целесообразно, поскольку они способствуют снижению выбросов углерода и могут предотвратить или уменьшить возникновение серьезных экологических проблем в будущем.

Для выработки практических рекомендаций в сфере государственной политики в отношении человеческого капитала в целях предотвращения деградации окружающей среды можно предложить следующее. Во-первых, нужно оперативно поднять средний уровень образования в Китае до необходимого для сохранения окружающей среды уровня, который в настоящее время сравнительно невысок по сравнению с промышленно развитыми странами. Кроме того, проводить обучение людей на всех уровнях образования, что повысит осведомленность в вопросах охраны окружающей среды и позволит освоить методы эффективного использования энергии. На уровне высшего образования следует поддерживать экологически чистые технологии, проекты в области возобновляемых источников энергии, а также идеи и методы повышения эффективности. Наконец, необходимо стимулировать и субсидировать частный сектор для снижения выбросов углекислого газа.

В учебных программах довузовского образования в Китае не уделяется должного внимания вопросам устойчивого развития и экологической ответственности. Необходимо усовершенствовать программу экологического образования, чтобы дать студентам более полное представление о проблемах устойчивого развития (Wang, 2021). Установление сотрудничества как на местном, так и на общестрановом уровне имеет решающее значение для развития экологического образования. Благодаря сотрудничеству между экологическими группами, колледжами, местными органами власти и другими заинтересованными сторонами эти партнерства могут способствовать продвижению и реализации инициатив в сфере экологического образования (Li et al., 2022).

Наше исследование является оригинальным с точки зрения эконометрической модели и методов, однако в будущих исследованиях в этой области тема может быть рассмотрена по-другому. Методология исследования не учитывает структурные разрывы, они не были добавлены в модели при анализе, поэтому могут быть учтены в будущем. Также модель может быть расширена путем добавления дополнительных контрольных переменных.

Литература

- Ahmed Z., Wang Z. (2019). Investigating the impact of human capital on the ecological footprint in India: An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26782–26796.
- Aytun C., Akin C. (2016). Relationship between CO₂ emissions, energy consumption and education in Turkey: Bootstrap causality analysis. *Eurasian Econometrics, Statistics & Empirical Economics Journal*, 4, 49–63.
- Banerjee A., Dolado J., Mestre R. (1998). Error-correction mechanism tests for cointegration in a single-equation framework. *Journal of Time Series Analysis*, 19(3), 267–283.
- Bayar Y., Smirnov V., Danilina M., Kabanova N. (2022). Impact of institutions and human capital on CO₂ emissions in EU transition economies. *Sustainability*, 14(1), 353.
- Bayer C., Hanck C. (2012). Combining non-cointegration tests. *Journal of Time Series Analysis*, 34(1), 83–95.
- Becker G.S. (1994). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. Third edition. Chicago: University of Chicago Press.
- Beyene S.D. (2022). Human activities and environmental quality: Evidence beyond the conventional EKC hypothesis. *Heliyon*, 8(9), e10756.
- Boswijk H.P. (1994). Testing for an unstable root in conditional and unconditional error correction models. *Journal of Econometrics*, 63, 37–60.
- Chen Y., Lee C.-C., Chen M. (2021). Ecological footprint, human capital, and urbanization. *Energy & Environment*, 33(3), 487–510.
- Danish H.S.T., Baloch M.A., Mahmood N., Zhang J.W. (2019). Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity. *Sustainable Cities and the Society*, 47, 101516. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101516>.
- Dinda S. (2004). Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455.
- Engle R.F., Granger C.W.J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, 55(2), 251–276.
- Feenstra R.C., Inklaar R., Timmer M.P. (2015). The next generation of the Penn World table. *American Economic Review*, 105(10), 3150–3182.
- Fisher R. (1932). *Statistical Methods for Research Workers*. London: Oliver and Boyd.
- Hao L.-N., Umar M., Khan Z., Ali W. (2021). Green growth and low carbon emission in G7 countries: How critical the network of environmental taxes, renewable energy and human capital is? *Science of the Total Environment*, 752, 141853.
- Hassan S.T., Xia E., Khan N.H., Shah S. (2019). Economic growth, natural resources, and ecological footprints: Evidence from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(3), 2929–2938.
- Hou G. (2022). How to promote the environmental education among young people in China. In: *Proceedings of the 2022 7th International Conference on Social Sciences and Economic Development (ICSSSED 2022)*. Available at: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icsssed-22/125973938> (accessed: August 12, 2023).
- Iorember P.T., Jelilov G., Usman O. et al. (2021). The influence of renewable energy use, human capital, and trade on environmental quality in South Africa: Multiple structural breaks cointegration approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), 13162–13174.
- Johansen S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231–254.
- Jun Y., Zong-kui Y., Peng-fei S. (2011). Income distribution, human capital and environmental quality: Empirical study in China. *Energy Procedia*, 5, 1689–1696.
- Kasman A., Duman Y.S., (2015). CO₂ emissions, economic growth, energy consumption, trade and urbanization in new EU member and candidate countries: A panel data analysis. *Economic Modelling*, 44, 97–103.

- Khan M. (2020). CO2 emissions and sustainable economic development: New evidence on the role of human capital. *Sustainable Development*, 28(5), 1279–1288.
- Khan Z., Ali S., Dong K., Li R.Y.M. (2021). How does fiscal decentralization affect CO2 emissions? The roles of institutions and human capital. *Energy Economics*, 94, 105060.
- Komen R., Gerking S., Folmer H., (1997). Income and environmental R&D: empirical evidence from OECD countries. *Environment and Development Economics*, 2(4), 505–515. DOI:10.1017/S1355770X97000272
- Kozhan R. (2010). *Financial Econometrics – with Eviews*. Roman Kozhan & Ventus Publishing ApS.
- Kwiatkowski D., Phillips P.C.B., Schmidt P., Shin Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that the economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54, 159–178.
- Lan J., Kakinaka M., Huang X. (2012). Foreign direct investment, human capital and environmental pollution in China. *Environ Resour Econ.*, 51(2), 255–275.
- Li G., Xi Y., Zhu Z. (2022). The way to sustainability: Education for sustainable development in China. *Asia Pacific Education Review*, 23(4), 611–624.
- Li P., Ouyang Y. (2019). The dynamic impacts of financial development and human capital on CO2 emission intensity in China: An ARDL approach. *Journal of Business Economics and Management*, 20(5), 939–957.
- Mahmood N., Wang Z., Hassan S.T. (2019). Renewable energy, economic growth, human capital, and CO2 emission: An empirical analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 20619–20630. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05387-5>
- Pata U.K., Caglar A.E. (2021). Investigating the EKC hypothesis with renewable energy consumption, human capital, globalization and trade openness for China: Evidence from augmented ARDL approach with a structural break. *Energy*, 216, 119220.
- Pedroni P. (2001). Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. In: Baltagi B.H., Fomby T.B., Carter Hill R. (Eds.). *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels (Advances in Econometrics, Vol. 15)*. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- Phillips P.C., Hansen B.E. (1990). Statistical inference in instrumental variables regression with I(1) processes. *Review of Economic Studies*, 57(1), 99–125.
- Sarkodie S.A., Adams S., Owusu P.A. et al. (2020). Mitigating degradation and emissions in China: The role of environmental sustainability, human capital and renewable energy. *Science of the Total Environment*, 719, 137530.
- Shujah-ur-Rahman Chen S., Saud S., Saleem N., Bari M.W. (2019). Nexus between financial development, energy consumption, income level, and ecological footprint in CEE countries: Do human capital and biocapacity matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 31856–31872.
- Teng B.-S. (2004). The WTO and entry modes in China. *Thunderbird International Business Review*, 46, 381–400.
- Toda H.Y., Yamamoto T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225–250.
- Vandenbussche J., Aghion P., Meghir C. (2006). Growth, distance to frontier and composition of human capital. *Journal of Economic Growth*, 11 (2), 97–127.
- Wang A. (2021). *Enhancing Sustainability Education in China's Secondary Schools*. Available at: <https://news.climate.columbia.edu/2021/05/04/sustainability-education-china/> (accessed: August 12, 2023).
- Williamson C. (2017). Emission, education, and politics: An empirical study of the carbon dioxide and methane environmental Kuznets curve. *The Park Place Economist*, 25(1), 21–33.
- Yao Y., Ivanovski K., Inekwe J., Smyth R. (2020). Human capital and CO2 emissions in the long run. *Energy Economics*, 91, 104907.
- Zafar M.W., Zaidi S.A.H., Khan N.R. et al. (2019). The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: The case of the United States. *Resources Policy*, 63, 101428.
- Zhang L., Godil D.I., Bibi M. et al. (2021). Caring for the environment: How human capital, natural resources, and economic growth interact with environmental degradation in Pakistan? A dynamic ARDL approach. *Science of the Total Environment*, 774, 145553.

Сведения об авторах

Фунда Дургун – PhD (эконометрика), преподаватель, Университет Диджле (Турция, г. Диярбакыр, İİBF, Fetih Mah., Sur; e-mail: funda.uncu@dicle.edu.tr)

Азиз Даянир – PhD (экономика), младший научный сотрудник, Стамбульский университет (Турция, г. Стамбул, главный кампус, 34452, Beyazıt, Fatih; e-mail: aziz.dayanir@istanbul.edu.tr)

Durgun F., Dayanir A.

Revisiting the Linkages Between Economic Growth, Human Capital and Environmental Quality

Abstract. Various anthropogenic activities that cause the release of greenhouse gases have increased the problems caused by climate change. The increasing necessity of mitigating the damaging impacts of worldwide warming draws attention to the environmental degrading effects of fossil fuels. This empirical research explores the relationship among China's human capital (lhc), GDP growth ($lgdp$), energy intensity (lei) and environmental degradation (lco_2) by using the data from 1990 to 2019. In this study, macroeconomic data of China is analyzed; the Bayer – Hanck test is employed in the analysis of cointegration, and the Toda – Yamamoto test is conducted for causality analysis. The following are the study's findings: the cointegration analysis shows that there exist a cointegrated relationship between lco_2 , lhc , $lgdp$ and lei . In other words, it shows that the factors have a cointegrated relationship. According to the outcomes of FMOLS analysis, increases in energy intensity, GDP growth, and human capital increase carbon dioxide releases in the long term. As evidenced by the findings, improvement in energy efficiency is associated with favorable outcomes for the environment, though economic expansion and the augmentation of human capital are linked to adverse effects on environmental conditions. The Toda – Yamamoto causality test has yielded results indicating the presence of causality links between human capital and carbon emissions, as well as between human capital and energy intensity. Furthermore, it has been observed that the former variable exerts a unidirectional influence on the latter. There is also a unidirectional causality from all variables to carbon emissions, GDP growth and energy intensity, respectively.

Key words: economic growth, human capital, China, CO₂ emissions, Bayer – Hanck cointegration.

Information about the Authors

Funda Durgun – PhD in Econometrics, Lecturer, Dicle University (İİBF, Fetih Mah., Sur, Diyarbakır, Türkiye; e-mail: funda.uncu@dicle.edu.tr)

Aziz Dayanir – PhD in Economics, Research Assistant, Istanbul University (Main Campus, 34452, Beyazıt, Fatih, Istanbul, Türkiye; e-mail: aziz.dayanir@istanbul.edu.tr)

Статья поступила 26.05.2023.