

Прикладная эконометрика, 2025, т. 79, с. 50–71.

Applied Econometrics, 2025, v. 79, pp. 50–71.

DOI: 10.22394/1993-7601-2025-79-50-71

А.В. Комарова, А.Ю. Новиков, И.В. Филимонова¹

Оценка влияния климатической политики на экономическое развитие стран

В работе изучается взаимосвязь между жесткостью климатической политики, реализуемой в странах мира, и темпами экономического развития в период 2000–2020 гг. Рассмотрена проблема потенциального наличия двусторонней взаимосвязи между данными показателями. Проанализирована возможность использования темпов роста или снижения выбросов как индикатора жесткости климатической политики. Предложены альтернативные индикаторы для моделирования воздействия политики на экономическое развитие страны. В работе используется динамическая модель панельных данных, оцениваемая с помощью обобщенного метода моментов.

Ключевые слова: экономический рост; выбросы парниковых газов; климатическая политика; обобщенный метод моментов.

JEL classification: C23; C82; Q58; Q54.

1. Введение

В последние годы набирает важность климатический аспект государственной политики, нацеленный на сокращение выбросов парниковых газов. В первую очередь необходимость сокращения выбросов обусловлена международными обязательствами по улучшению эколого-климатической ситуации, принятыми в рамках Парижского соглашения 2016 г. и 26-й конференции ООН по изменению климата 2021 г. Размер обязательств различается для всех стран и зависит, в первую очередь, от текущего уровня выбросов и экономических возможностей. Общей целью является сокращение к 2050 г. выбросов парниковых газов в два раза относительно уровня 1990 г.

В краткосрочной перспективе сокращение выбросов практически невозможно без ущерба для экономики, в связи с чем возникает проблема выбора государственной политики, способствующей снижению выбросов без значительного замедления экономического роста. Однако разнонаправленные и нелинейные взаимосвязи между индикаторами качества окружающей среды и экономическими показателями значительно затрудняют оценивание и выработку единой эколого-климатической стратегии.

¹ Комарова Анна Владимировна — Новосибирский государственный университет, Новосибирск; a.komarova@g.nsu.ru.

Новиков Александр Юрьевич — Новосибирский государственный университет, Новосибирск; a.novikov2@g.nsu.ru.

Филимонова Ирина Викторовна — Новосибирский государственный университет, Новосибирск; filimonovaiv@list.ru.

Влияние эколого-климатических и экономических факторов проявляется в обе стороны. Экономическое развитие приводит к увеличению использования энергии, производства и потребления, что напрямую сказывается на показателях загрязнения. С другой стороны, на современном этапе развития рост выбросов создает необходимость применять различные инструменты сокращения эколого-климатического ущерба (система торговли квотами на выбросы, налоги на выбросы, прямые административные ограничения, регулирование установки систем фильтрации и др.) и увеличивать природоохранные расходы. Таким образом, содержательные взаимосвязи между факторами не ограничиваются односторонним влиянием.

Как экологические, так и климатические факторы оказывают обратное влияние на экономику, однако в случае с выбросами парниковых газов можно рассматривать только косвенный эффект. Выбросы загрязнителей могут оказывать прямое влияние через снижение качества человеческого капитала, но парниковые газы не влияют на экономические процессы в краткосрочной перспективе. Их накопление в атмосфере может приводить к долгосрочным климатическим изменениям, что в первую очередь отразится на сельском хозяйстве и экономике прибрежных регионов, но в данный момент эти эффекты проявляются не так сильно. Тем не менее, можно говорить об обратном влиянии на экономику через реализуемые странами меры по сокращению выбросов.

Цель данного исследования — выявление значимых индикаторов климатической политики и оценка их влияния на экономический рост в разрезе крупнейших стран мира с помощью динамической модели панельных данных. Основной гипотезой является наличие отрицательного влияния климатической политики на экономический рост на макроуровне.

2. Обзор современного состояния изучаемой проблемы

2.1. Влияние экономических факторов на эколого-климатические показатели

Стоит отметить, что выявлению и оценке влияния экономических показателей на экологические и климатические посвящено значительно больше работ, чем анализу обратного влияния. На примере отдельных стран и регионов с помощью эконометрического анализа выявлено как общее негативное влияние экономического роста на индикаторы качества окружающей среды, так и воздействие отдельных экономических показателей. Так, для выборки из 20 развитых и развивающихся стран было показано отсутствие влияния прямых иностранных инвестиций (ПИИ) на экологические показатели (Solarin, Al-Mulali, 2018); для выборки из 10 наиболее популярных туристических стран было выявлено U-образное влияние туристического фактора (Katircioglu et al., 2018); для выборки из 146 стран за период 1981–2009 гг. показано неоднозначное влияние процесса глобализации на экологический след (Rudolph, Figge, 2017); на примере Пакистана выявлена двунаправленная зависимость между добычей природных ресурсов и загрязнениями (Hassan et al., 2019) и т. д.

Grossman, Krueger (1991) применили к экологической политике кривую Кузнеця, которая демонстрировала обратную U-образную зависимость неравенства доходов от уровня экономического развития. В результате была предложена концепция экологической кривой Кузнеця (ЭКК), где вместо показателя неравенства рассматриваются выбросы загрязнителей или парниковых газов. Рост доходов, происходящий по мере развития экономики, приводит

к повышению спроса на безопасную экологическую среду. Если в начале индустриального развития рост приводил к значительному ухудшению качества окружающей среды, то со временем, по мнению авторов, может наступить переломный момент, и влияние может стать положительным (Grossman, Krueger, 1995).

Данная теория, с одной стороны, подвергается критике. Во-первых, оспаривается сама обратная U-образная форма зависимости качества окружающей среды от экономического роста. Во-вторых, даже при существовании точки перегиба, накопленный ущерб к моменту ее достижения может быть непоправимым, что не позволит реализовать положительную зависимость между переменными. Наконец, если развитые страны начинают проводить активную политику сокращения выбросов, загрязняющие производства могут перемещаться на территорию других стран, в первую очередь, с развивающейся экономикой. Таким образом, отдельные страны смогут сократить выбросы, но их суммарный объем в мире не изменится или продолжит расти. Для России в частности, на данных 1990–2007 гг. наличие ЭКК опровергалось (Рao et al., 2011), однако была найдена возможность сокращения выбросов через повышение энергоэффективности. С другой стороны, отдельные эмпирические исследования находили подтверждение данной гипотезе. Например, ЭКК была выявлена для Китая, Бразилии и Индонезии при рассмотрении взаимосвязи выбросов CO_2 с ростом населения, потреблением энергии и уровнем доходов (Alam et al., 2016).

Тема влияния экономического развития на экологические параметры также изучалась российскими авторами (Тагаева, 2011; Гильмундинов и др., 2020). В работе (Шкиперова, 2013) делается попытка выявления ЭКК в межрегиональном разрезе, а не временном для конкретных стран, при этом гипотеза о наличии ЭКК в регионах РФ отвергается. Михалищев, Раскина (2016), наоборот, на данных за 2000–2013 гг. для отдельных видов выбросов загрязняющих веществ подтвердили наличие ЭКК и спрогнозировали потенциальные точки перегиба для регионов. Таким образом, нельзя сделать однозначный вывод о наличии ЭКК в России и российских регионах. Еще в одном исследовании рассматривались проблемы устойчивого развития стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС) и сделан вывод, что на данный момент эколого-климатические проблемы евразийских государств сдерживают их, в результате чего пока невозможен выход на траекторию устойчивого развития (Селищева, 2018).

2.2. Влияние эколого-климатических факторов на экономические показатели

Описанный выше блок литературы был посвящен влиянию экономических факторов на эколого-климатическую обстановку, однако необходимо рассматривать и обратное влияние. Ухудшение экологической или климатической ситуации привело к появлению различных ограничений: налогов на загрязнения и выбросы, стандартов и особых требований к вредным производствам и т.д., что, в свою очередь, напрямую влияет на издержки производителей и может вести к сокращению производства и снижению темпов экономического развития.

Неоклассическая экономическая теория в основном описывает негативное влияние экологического и климатического регулирования на экономический рост (Ramanathan et al., 2010). Существует ряд проблем, связанных с экологическим регулированием, как для региона в целом, так и для отдельных предприятий. В первую очередь можно выделить следующие проблемы (Gray, Shadbegian, 2003).

- Постоянное ужесточение экологических стандартов приводит к снижению конкурентоспособности рынка и увеличению нагрузки на компании. Особенно сильно это сказывается на компаниях, работающих на международном рынке. Если подобные стандарты появляются только в стране расположения компании, это приводит к снижению ее эффективности относительно заграничных конкурентов.
- Для внедрения экологических стандартов зачастую требуются значительные инвестиции. Даже при наличии государственной поддержки это приводит к увеличению себестоимости. При этом компании также несут косвенные издержки, связанные с альтернативными возможностями, что в конечном счете снижает эффективность производства и прибыльность, отражаясь на региональном росте.
- Когда экологические стандарты начинали активно внедряться, рыночных инструментов регулирования еще не существовало, а вмешательство, в первую очередь, было административным. Это приводило к нарушению работы рыночных механизмов. На сегодняшний день разработаны специализированные рыночные механизмы, как, например, система торговли квотами на выбросы, что частично решает проблему. Однако институциональная среда во многих странах все еще не подготовлена для внедрения таких инструментов.

Влияние климатического регулирования также может проявляться через несколько направлений. Государственные меры углеродного регулирования можно условно разделить на ограничительные и стимулирующие переход к технологиям с низким уровнем выбросов (Komarova et al., 2022). Ограничительные меры напрямую направлены на сокращение объема выбросов парниковых газов, к ним можно отнести:

- прямые административные ограничения уровня выбросов;
- углеродные налоги;
- системы торговли квотами на выбросы;
- запреты или ограничения на продажу углеродоемкой продукции, в том числе механизмы корректировки цен такой продукции;
- введение технологических стандартов, запрет использования отдельных технологий;
- сокращение мер поддержки для производителей ископаемых видов топлив и углеродоемкой продукции.

Стимулирующие меры носят более мягкий характер и в основном связаны с поощрением использования экологичных технологий и сокращения объема выбросов. Применение данных мер не оказывает негативного влияния на экономические процессы в стране и, наоборот, может приводить к повышению эффективности производств. К ним относятся:

- льготный режим налогообложения для производителей углеродно-нейтральной продукции и сферы возобновляемой энергетики;
- «зеленые кредиты»;
- выплаты за определенные объемы сокращения выбросов;
- субсидии и софинансирование проектов, приводящих к снижению выбросов;
- инвестиции в НИОКР в области «зеленых» технологий;
- создание институциональной структуры, обеспечивающей координацию действий государства и бизнеса.

Значительная часть научных работ по этой теме посвящена именно изучению влияния развития экономики на окружающую среду или «поиску компромисса между темпами роста и качеством окружающей среды», т.е. поиском направлений «устойчивого развития».

В (Bergquist et al., 2013) исследован долгосрочный процесс внедрения экологических стандартов в Швеции и показано, что при определенных условиях командное регулирование может оказаться эффективным и привести к значительному сокращению выбросов без ущерба для компаний. Действия правительства при этом должны быть постепенными (период реформ более 30 лет) и регулярно осуществляемыми (постоянно поддерживаемые переговоры с отдельными предприятиями).

Однако существует ряд исследований, принципиально отличающихся от описанной концепции. Их смысл заключается в том, что можно не просто внедрять стандарты без ущерба экономическому развитию, но и извлекать из их внедрения преимущества, как на региональном уровне, так и для отдельной фирмы. В работе (Porter, Van der Linde, 1995) выдвинута «гипотеза Портера». Показано, что разумное экологическое регулирование имеет эффект «компенсаций за инновации». Предсказуемое ужесточение экологических нормативов подталкивает компании к научным разработкам и участию в инновационной деятельности. За счет этого компенсируются затраты на соблюдение стандартов, что в целом способствует экономическому росту на региональном уровне и приводит к улучшению по Парето, т.е. показатели качества окружающей среды улучшаются без падения экономических показателей (Badeeb et al., 2017).

Целесообразно обсудить сопоставление различных инструментов как для сокращения выбросов, так и для увеличения поглощения. Проблема оценки выбросов и поглощений в секторе лесного хозяйства, увеличения поглощающей способности лесов и реализации лесоклиматических проектов широко обсуждается в литературе. Возможно ли сокращение нетто выбросов до целевого уровня только за счет увеличения поглощения — вопрос спорный и непосредственно зависящий от поставленной цели по сокращению. Достижение значительного сокращения нетто выбросов только за счет лесоклиматических проектов может быть нецелесообразным в сравнении с комбинацией различных мер, в том числе по сокращению выбросов в отдельных отраслях. Площадь, необходимая для расширения лесов, будет колоссальной, что потребует трансформации других биомов и может приводить к экологическим последствиям.

Необходимо отметить долгосрочность реализации такого решения — от высадки деревьев до эффекта поглощения может пройти несколько десятков лет, т.к. поглощение зависит от возраста дерева. К тому же «перестойные» деревья перестают запасать углерод и начинают его выделять, что также приводит к выбросам парниковых газов из-за растительного дыхания. Еще один аспект — лесные пожары, которые могут очень быстро нарушить планы, и сами по себе провоцируют значительный выброс углерода. В связи с этим управление лесами играет важную роль, но при этом требует больших затрат и тщательного долгосрочного планирования.

Сокращение выбросов в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства дает намного более быстрый и хорошо измеримый эффект. При этом часто сокращаются выбросы различных загрязняющих веществ, что является целью экологической политики. Зачастую попутно решается задача повышения энергоэффективности и применения так называемых наилучших доступных технологий, что стимулирует научно-технический прогресс.

В Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. рассматривается несколько сценариев развития экономики и сокращения выбросов. Предусмотренные целевым (интенсивным) сценарием меры должны обеспечить к 2050 г. снижение валовых выбросов на 910 млн тонн эквивалента

углекислого газа по сравнению с объемом выбросов в отсутствие таких мер. Увеличение поглощений к 2050 г. должно обеспечить дополнительный эффект в размере до 665 млн тонн эквивалента углекислого газа. В стратегии отдельно подчеркивается роль лесного хозяйства в сокращении нетто выбросов, однако цели по сокращения выбросов в других секторах также обозначены. Тем не менее, литературы по эмпирической оценке влияния сокращения выбросов и внедрения каких-либо регулирующих мер достаточно мало.

Отдельно рассматривается влияние эколого-климатического регулирования на ресурсные регионы. Те регионы, где проявляется «ресурсное проклятие», не склонны к накоплению человеческого капитала и инвестициям в технологии, т.к. есть более быстрый способ получения доходов. Внедрение стандартов, как говорилось выше, способствует инновационной активности, что приводит к большей диверсификации и помогает бороться с «проклятием». В работе (Yang, Song, 2019) построена трехсекторная модель экономики, включающая добычу ресурсов, промышленное производство и научные разработки, и показано, что экологическое регулирование оказывает обратное U-образное влияние на экономический рост регионов. Построенная теоретическая модель и проведенный эконометрический анализ показали, что экологическое регулирование оказывает положительное влияние на экономику до определенного предела, когда требования становятся слишком жесткими. К похожим результатам пришли Qian et al. (2019), проведя расчеты с использованием динамической модели панельных данных (оцененной SYS GMM) для угледобывающих регионов Китая.

Наконец, стоит отметить, что исследования проводятся не только на региональном уровне, но и на корпоративном. Сравнение факторов, влияющих на доходы российских и зарубежных нефтедобывающих компаний, показало, что затраты на экологию не значимы для России, но уменьшают капитализацию иностранных компаний (Filimonova et al., 2020). Но даже в случае отрицательного влияния на финансово-экономические показатели компании нельзя забывать, что внедрение современных технологий, сокращающих экологический ущерб, позитивно отражается на имидже компании. Это, в свою очередь, создает доверие со стороны инвесторов и способствует устойчивому развитию.

Кроме того, в анализе необходимо учитывать энергоэффективность (или энергоемкость) ВВП, поскольку вне зависимости от взаимовлияния экономического роста и экологических факторов повышение энергоэффективности является возможным источником экономического роста без увеличения вреда для экологии. В частности, энергоэффективность можно рассматривать как индикатор технологического прогресса или производительности труда (Bataille, Melton, 2017).

3. Способы учета мер климатического регулирования

Показатели выбросов парниковых газов или загрязнителей часто встречаются во многих работах как факторы, влияющие на валовый внутренний или национальный продукт в подушевом или абсолютном выражении (Mardani et al., 2019). Однако включение выбросов в регрессию скорее всего будет приводить к смещению оценок, с чем авторы борются различными способами. Можно выделить несколько причин смещения. В частности, до сих пор существует проблема оценки выбросов парниковых газов: многие категории выбросов обладают значительной неопределенностью; некоторые оценки калькулируются на основе значительных допущений и упрощений, основанных на экспертном мнении; оценки

отличаются в различных статистических источниках. Однако основной причиной смещения оценок в регрессиях является эндогенность выбросов парниковых газов.

Если непосредственное использование показателей выбросов парниковых газов является некорректным, то первые разности или темпы роста/снижения выбросов могут рассматриваться как своеобразный индикатор совокупности всех предпринимаемых мер климатического регулирования.

Используемые государствами меры слишком сильно разнятся по количественным и качественным характеристикам, однако все они направлены на сокращение объема выбросов. Динамика выбросов парниковых газов позволяет одновременно рассматривать влияние совокупности принимаемых мер на экономику.

Сохранение темпов роста выбросов или их увеличение может свидетельствовать об отсутствии мер регулирования. Наоборот, снижение темпов роста можно интерпретировать как рост контроля со стороны государства, введение дополнительных ограничительных мер и т.п. Сокращение темпов роста выбросов также может быть связано с сокращением энергопотребления и уровня производства в кризисные периоды, т.е. обратным влиянием со стороны экономики. Смещение, вызванное обратным влиянием из-за двунаправленных связей, должно контролироваться в модели. При удалении этого направления влияния динамика выбросов может выступать условным индикатором эффективности климатических мер.

Регулирование в области энергетики приводит к росту доли альтернативных источников энергии в структуре потребления. Сектор «Энергетика» является основным источником выбросов парниковых газов, поэтому процесс энергоперехода к возобновляемой энергетике также отражается на динамике выбросов. В таком случае динамика выбросов в том числе может интерпретироваться как показатель уровня технологического развития.

Таким образом, темпы роста или сокращения выбросов парниковых газов можно интерпретировать как показатель, в целом отражающий степень влияния климатических мер. Данный показатель чаще всего применяется в эконометрических исследованиях по выявлению влияния климатических факторов на экономические показатели стран (Mardani et al., 2019).

Отметим, что существует несколько баз данных выбросов парниковых газов, по-разному их учитывающих. Наиболее точные оценки выбросов по всем секторам экономики можно найти в национальных кадастрах антропогенных выбросов парниковых газов. Однако, хотя страновые методики расчета основаны на методических рекомендациях МГЭИК, каждая страна использует свои подходы, что также может приводить к смещению оценок.

Основными унифицированными базами данных являются наборы данных The World Bank², BP statistics³, EDGAR⁴. При этом The World Bank и BP statistics дают оценки только в рамках упрощенной методики, оценивающей совокупное потребление топлива в стране. Расчетные показатели EDGAR включают выбросы CO₂, CH₄, N₂O в CO₂ эквиваленте от большинства источников, создающих выбросы: сжигание ископаемого топлива, процессы производства нерудных полезных ископаемых (например цемента), металлов (черных и цветных), мочевины, известкование в сельском хозяйстве и использование растворителей.

² <https://data.worldbank.org/>.

³ <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics.html>.

⁴ <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>.

В качестве альтернативы включения динамики выбросов парниковых газов в регрессию, индикатором влияния эколого-климатических мер могут выступать какие-либо косвенные данные о реализации политики сокращения выбросов. В данном разделе предлагается рассмотреть 2 группы возможных показателей: 1) индикаторы на основе принятия законодательных актов в области климатического регулирования; 2) фиктивные переменные на основе информации о наличии углеродного налога или системы торговли квотами на выбросы.

Индикаторы на основе законодательных актов. The World Bank с 2010 г. публикует серию индикаторов «regulatory indicators for sustainable energy (RISE)». Методология оценивания предполагает оценки в отдельных подкатегориях в зависимости от наличия или отсутствия законодательной базы в различных областях. Всего в индикатор входят 4 группы показателей: доступ населения к электричеству, «экологически чистое приготовление пищи», возобновляемая энергия, энергоэффективность.

Доступ населения к электричеству является, скорее, инфраструктурным фактором, который оказывает определенное влияние на экономический рост, но не индикатором климатической политики. Энергоэффективность предполагается включить в качестве фактора напрямую. Показатели группы «чистая кулинария» больше связаны с пожарами, загрязнением помещений и санитарными нормами. Прямую связь с климатическим регулированием имеет только группа показателей, относящихся к возобновляемой энергетике. В ней рассматриваются: правовая база для использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), планирование расширения использования ВИЭ, стимулы и регуляторная поддержка ВИЭ, атрибуты финансовых и нормативных стимулов, сетевое подключение и пользование, риск контрагента, ценообразование и мониторинг выбросов углерода. Для каждого пункта рассматривается от 5 до 20 аспектов, например, «является ли цель по сокращению выбросов юридически обязательной». Баллы по каждому пункту усредняются с помощью среднего геометрического и дают оценку регулирования возобновляемой энергетики по стране. На данный момент средний показатель по миру составляет 55 баллов из 100 максимальных.

Основным недостатком этого показателя является отсутствие механизма прямого влияния на экономику в данный момент. Тем не менее, можно рассматривать данный показатель как условный индикатор заинтересованности государств в реализации политики низкоуглеродного развития.

Фиктивные переменные. Основной проблемой использования показателей систем торговли квотами или углеродных налогов является их разрозненность. Во-первых, по территориальному признаку данные инструменты могут использоваться на уровне городов, отдельных регионов, стран или являться наднациональными (например, система торговли квотами ЕС). Во-вторых, в рамках данных систем зачастую регулируются разные виды топлива и источники парниковых выбросов, например: топливо для транспорта (Ирландия), фторсодержащие парниковые газы (Дания), бензин и дизель (Люксембург). Также во многих странах сочетаются несколько видов мер углеродного регулирования.

Совокупность вышеперечисленных особенностей приводит к невозможности корректно просуммировать ценовые показатели, чтобы понять, в каких странах цена на углерод выше, и интерпретировать это как более строгие меры контроля. При этом с большой вероятностью ценовые индикаторы подвержены обратному влиянию экономического развития — страны с более высоким уровнем доходов могут добиваться установления более высокой цены на углерод.

В данном исследовании предлагается включать углеродные налоги и системы торговли квотами на выбросы (СТКВ) в качестве фиктивных переменных с момента их введения. У Европейского Союза, Норвегии, Исландии и Лихтенштейна действует единая система торговли квотами, работающая на наднациональном уровне с 2005 г. Аналогичный механизм используют Канада (с 2019 г.), Казахстан (с 2013 г.), Корея (с 2015 г.), Новая Зеландия и Швейцария (с 2008 г.). Углеродные налоги распространены на территории 40 стран, причем в Дании и Швеции они действуют с 1992 г.

4. Данные и методы

На первом этапе работы была сформирована панельная база данных по 74 странам с доступными данными за 2000–2020 гг. В выборку входят страны ЕС, Северной и Южной Америки, Россия, Япония, Китай, Индия, Австралия, а также развивающиеся страны Азии, Африки и Ближнего Востока.

Источником данных послужили открытые материалы The World Bank, British Petroleum, The U.S. Energy Information Administration (EIA). В базу были включены следующие показатели:

- ВВП по ППС в ценах 2017 г., долл. США;
- подушевой ВВП по ППС в ценах 2017 г., долл. США;
- валовое накопление основного капитала в % от ВВП;
- расходы домохозяйств на конечное потребление в % от ВВП;
- численность населения и рабочей силы, чел.;
- энергопотребление, эксаджоули;
- выбросы парниковых газов, млн тонн CO₂.

На основе данных показателей были рассчитаны вторичные показатели: подушевые выбросы, потребление первичной энергии на душу населения, а также энергоемкость и энергоэффективность в постоянных ценах.

Для проведения эконометрического анализа было выполнено несколько преобразований, а также проведены необходимые проверки качества данных. Был осуществлен переход к темпам роста показателей. В результате база данных сократилась на 1 период из-за выпадающих значений. Такое решение преследовало сразу несколько целей.

Во-первых, это упрощает работу с выбросами. Данное преимущество является незначительным, т.к. большой инструментарий статистических методов позволяет анализировать данные любого формата, но при большом числе показателей стандартизированные темпы роста удобнее анализировать. Статистика распределения выборки по странам представлена в табл. 1.

Из базы данных были удалены Кувейт, Тринидад и Тобаго, Туркменистан и Ирак. В отдельные периоды данные страны демонстрировали многократный труднообъяснимый рост отдельных показателей, что приводило к сильным выбросам. Всего в выборке осталось 70 стран, для которых распределение показателей близко к нормальному, а выбросы отсутствуют.

Во-вторых, переход к темпам роста является стандартным способом приведения данных к стационарному виду. В отдельных случаях, когда авторы работают с панелью, состоящей из большого числа объектов, но относительно короткого временного ряда, такой вопрос может не рассматриваться (Aparicio et al., 2016). Подготовленные данные включают 20 периодов наблюдений, что приводит к необходимости провести проверку на стационарность.

Таблица 1. Статистики распределения темпов роста показателей в базе данных

Показатель	Мин.	1 квантиль	Медиана	Среднее	3 квантиль	Макс.
Подушевой ВВП (GDPper)	0.85	1.00	1.02	1.02	1.04	1.33
ВВП (GDP)	0.85	1.01	1.03	1.03	1.05	1.35
Доля валового накопления капитала в ВВП (К)	0.60	0.97	1.00	1.00	1.04	1.90
Доля потребительских расходов в ВВП (С)	0.75	0.98	1.00	1.00	1.01	1.37
Численность занятых (L)	0.86	1.00	1.01	1.01	1.02	1.19
Численность населения (P)	0.96	1.00	1.01	1.01	1.01	1.16
Энергопотребление (E)	0.74	0.99	1.01	1.01	1.04	1.25
Выбросы CO ₂ (CO)	0.70	0.97	1.01	1.01	1.05	1.33
Подушевые выбросы CO ₂ (COper)	0.69	0.97	1.00	1.00	1.03	1.31
Подушевое энергопотребление (Eper)	0.74	0.98	1.00	1.00	1.03	1.23
Энергоэффективность (Ef)	0.82	0.99	1.02	1.02	1.04	1.40

Для проверки временных рядов на стационарность или наличие единичных корней могут быть использованы критерий Дики–Фуллера (ADF тест) или KPSS (Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin) тест. Модификацию таких тестов для панельной структуры данных выполнило несколько коллективов авторов (Levin et al., 2002; Maddala, Wu, 1999; Choi, 2001). В настоящей работе использовались тесты Левина–Лин–Чу, Маддалы–Бу, а также Има–Песарана–Шина (IPS). При реализации данных тестов проводится оценка расширенных регрессий Дики–Фуллера для всех временных рядов отдельно с последующим расчетом обобщенной t -статистики, которая усредняет результаты отдельных статистик с учетом асимптотического среднего и стандартизированного отклонения.

Общим недостатком перечисленных тестов является предположение об отсутствии кросс-секционной корреляции внутри панели. Кроме того, тест Дики–Фуллера обладает малой мощностью на коротких временных рядах.

При проведении тестов максимальный размер лага был ограничен пятью периодами, т. к. панельная выборка характеризуется малым числом временных периодов. Наибольший потенциальный лаг может быть характерен для валового накопления основного капитала. При этом программное обеспечение автоматически вычисляет оптимальное число лагов, сравнивая модели с разными лагами по информационному критерию Акаике (AIC). Результаты проверок для исходных рядов показателей и приведенных к темпам роста могут быть предоставлены авторами по запросу.

Различие в результатах тестов для данных в исходных величинах может быть объяснено разной чувствительностью тестов к отсутствию стационарности данных по отдельным странам. Так, например, численность населения во многих развитых странах можно принять за стационарную, поскольку значительного изменения за период не наблюдалось. Напротив, такие страны, как Индия и Китай, имели значительный тренд по росту численности населения. При этом переход к темпам роста действительно решил проблему потенциальной нестационарности для всех показателей.

Наконец, наиболее важная причина перехода к темпам роста — это попытка устранить или ослабить двунаправленную причинно-следственную связь между показателями экономического роста и выбросами CO₂. В исходных показателях страны с большим производством (и, соответственно, ВВП) обеспечивают большие объемы выбросов, но и наоборот — большие

объемы выбросов (которые можно интерпретировать как экстенсивный рост, отсутствие экологических ограничений и т.п.) не тормозят развитие экономик и приводят к большему ВВП. В таком случае единственный способ учета двунаправленности — это построение систем уравнений: VAR, SVAR, PVAR и т.д.

В терминах темпов роста, прироста или первых разностей, если страны сокращают объемы выбросов, то их экономический рост может замедляться. И наоборот, если государственный контроль ослаблен, то появляются более конкурентоспособные предприятия с большими выбросами, что, в свою очередь, позитивно отражается на экономических показателях. Таким образом, есть связь между ростом выбросов парниковых газов и ВВП (или их душевых аналогов). Отметим, что ряд авторов выявлял обратную тенденцию — негативное влияние роста выбросов на макропоказатели (Bozkurt, Yusuf, 2014; Azam, 2016). Их интерпретация заключается в негативном влиянии выбросов на качество окружающей среды и, соответственно, трудовых ресурсов. Другое объяснение также апеллирует к «гипотезе Портера» и проявлению эффекта компенсаций за инновации.

Если рассматривать обратную связь, то рост ВВП или душевого ВВП не обязательно должен приводить к увеличению выбросов. Список участников Парижского соглашения и 26-й климатической конференции ООН включает страны с высоким уровнем экономического развития. Основной экономический рост в странах постиндустриального этапа развития достигается за счет сектора услуг, где выбросы намного меньше, чем в промышленном секторе. При этом новые промышленные предприятия заранее адаптированы к низкоуглеродной повестке и обеспечивают требуемый объем выпуска с минимальными возможными выбросами. Инвестиции в природоохранные и эколого-климатические инициативы создают инфраструктуру и рабочие места (т.е. способствуют экономическому росту) на проектах, которые заняты сокращением выбросов, и т.д.

При этом не всегда и не во всех странах данные факторы нивелируют причинную связь от ВВП к выбросам CO_2 . К тому же есть вероятность, что данный эффект сильнее проявляется к концу временной выборки, но не так значителен вначале. В отсутствии каких-либо регулирующих мер и внимания к эколого-климатическим вопросам, строительство нового условного предприятия-загрязнителя приведет к одновременному росту выпуска и выбросов, что интерпретируется как влияние ВВП на выбросы CO_2 . Тем не менее, с учетом текущего уровня развития мировой экономики и повышенного внимания к проблемам климата можно предположить, что переход к темпам роста сохранит связь от климатических показателей к экономическим, а обратную связь нивелирует. Таким образом, мы избегаем обратного влияния темпов роста экономики на выбросы парниковых газов или хотя бы немного ослабляем содержательную эндогенность, что открывает более широкий спектр применимых моделей.

С учетом структуры сформированной базы, для дальнейшего эконометрического анализа были выбраны динамические модели панельных данных, оцениваемые методом SYS GMM (Alonso-Borrego, Arellano, 1999). Подход SYS GMM предлагает использование ограничений, включающих больше моментных тождеств для получения оценок, в сравнении с обычным GMM. Инструменты, используемые в стандартной оценке GMM, становятся менее информативными и плохо коррелируют с инструментируемой переменной в двух важных случаях. Во-первых, по мере приближения значения коэффициента при лаге объясняемой переменной к единице, а во-вторых, при увеличении относительной дисперсии индивидуальных эффектов. В контексте моделирования экономического развития стран на большой выборке,

в индивидуальных эффектах могут ожидать сильные различия, что также говорит о предпочтительности данного подхода.

При проведении исследования проверялись различные комбинации факторов и эффектов в модели, но в общем виде модель можно представить следующим образом:

$$GDPper_{i,t} = \alpha_1 GDPper_{i,t-1} + \sum_{j=0}^4 \alpha_2^j K_{i,t-j} + \alpha_3 L_{i,t} + \alpha_4 Ef_{i,t} + \alpha_5 COper_{i,t} + \varepsilon_{i,t} + \mu_t + \varphi_i, \quad (1)$$

где $GDPper_{i,t}$ — темп роста подушевого ВВП; $K_{i,t}$ — темп роста доли валового накопления капитала в ВВП; $L_{i,t}$ — темп роста численности рабочей силы; $COper_{i,t}$ — темп роста подушевых выбросов; $Ef_{i,t}$ — темп роста энергоэффективности; μ_t — временные эффекты; φ_i — индивидуальные эффекты; $\varepsilon_{i,t}$ — случайная ошибка; i — индикатор страны; t — индикатор времени.

Если говорить о гипотезах исследования, то зависимость от темпов роста подушевого ВВП прошлого периода ожидалась положительная. Темп роста численности рабочей силы выступает некоторым аналогом фактора «труд» в производственной функции. Предполагалось, что рост численности занятых может привести к увеличению валового выпуска. Отметим, что во многих современных эконометрических исследованиях авторы включают качественные, а не количественные показатели трудовых ресурсов. Распространенной практикой является использование показателя, отражающего оценку человеческого капитала (Pelinescu, 2015).

Хотя измерение человеческого капитала как фактора производства является актуальной темой современных исследований, в данном исследовании качественные показатели труда не включались в регрессию по двум причинам. Качественная оценка накопленного человеческого капитала даже для отдельно взятой страны является труднореализуемой задачей, поэтому исследователи включают в модели показатели уровня образования, здравоохранения и т.п., поскольку по ним намного проще найти статистику. Однако такая замена лишь косвенно отражает влияние человеческого капитала.

Кроме того, для рассматриваемых временных промежутков не удалось подобрать замещающие показатели так, чтобы панель оставалась сбалансированной. С учетом вышесказанного было решено не сокращать число наблюдений ради включения косвенных показателей человеческого капитала.

Наконец, важно отметить, что темпы роста численности занятых не коррелируют с темпами роста населения. В качестве объясняемого фактора выступает подушевой ВВП, поэтому в случае их сильной корреляции эффект увеличения численности занятых нивелировался бы при делении ВВП на численность населения. Корреляционная матрица для регрессионных факторов и других показателей базы данных представлена в Приложении.

При анализе взаимосвязи выбросов и экономического роста также важно исследовать показатели использования первичной энергии. Некоторые эмпирические исследования по анализу взаимосвязи включают в объясняющие факторы одновременно показатели выбросов и энергопотребления. Однако вне зависимости от того, какие категории выбросов включались в расчеты, энергетическое сжигание топлива вносит более 80% в итоговый объем эмиссии. Это приводит к сильной корреляции между показателями. В данном исследовании предлагается использовать показатель энергоэффективности, который также должен положительно влиять на темпы роста ВВП, но значительно меньше коррелирует с выбросами.

Наконец, в регрессию включалась доля валового накопления основного капитала в ВВП в текущем и прошлых четырех периодах для учета возможного инвестиционного лага.

Расчеты проводились в RStudio с использованием пакета *plm*. Поскольку временной диапазон исследования составляет до 20 лет, использование всех доступных инструментов для SYS GMM будет приводить к их избыточному количеству. Поэтому число используемых моментных тождеств из GMM по первой разности было значительно сокращено, и в итоге использовались ограничения (2) для регрессий с $T = 20$ и ограничения (3) для регрессий с $T \leq 11$:

$$\begin{aligned} E(GDPper_{i,t-s} \Delta u_{i,t}) &= 0 \quad \text{для } t = 4, \dots, T \text{ и } s = 3, \\ E(u_{i,t} \Delta GDPper_{i,t-1}) &= 0 \quad \text{для } t = 4, \dots, T; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} E(GDPper_{i,t-s} \Delta u_{i,t}) &= 0 \quad \text{для } t = 4, \dots, T \text{ и } 2 \leq s \leq 4, \\ E(u_{i,t} \Delta GDPper_{i,t-1}) &= 0 \quad \text{для } t = 4, \dots, T, \end{aligned} \quad (3)$$

где $u_{i,t} = \varepsilon_{i,t} + \varphi_i$, $\Delta u_{i,t} = u_{i,t} - u_{i,t-1}$.

В процедуре оценивания пакета *plm* все остальные регрессоры, кроме лага объясняемой переменной, рассматриваются как экзогенные. Они появляются как в матрице регрессоров, так и в матрице инструментов в виде дополнительных столбцов, что добавляет количество инструментов, равное числу факторов в регрессии. Наконец, если регрессия оценивается с учетом временных эффектов, то в матрицу инструментов добавляется еще $T-4$ шт.

Таким образом, для регрессий с выбросами CO₂ и фиктивными переменными СТКВ или углеродного налога при $T = 20$ использовалось до 58 инструментов (17 от GMM в первых разностях, 17 от GMM в уровнях, 5–7 от числа регрессоров, 17 от временных эффектов), а для регрессий с индексом RTSE при $T \leq 11$ — до 48 (до 24 от GMM в первых разностях, до 8 от GMM в уровнях, 5–7 от числа регрессоров, 8–9 от временных эффектов).

5. Результаты и обсуждение

Регрессия с выбросами CO₂. Результаты SYS GMM оценивания и необходимых тестов для модели, построенной по выборке из 70 стран за 2001–2020 гг., представлены в табл. 2.

Результаты тестов Вальда говорят о значимости всех коэффициентов одновременно, в том числе, во второй регрессии значимы временные эффекты. Тесты на автокорреляцию первого и второго порядка проверяют гипотезу H_0 : нет автокорреляции k -го порядка. В данном случае H_0 отвергается для автокорреляции первого порядка в обеих регрессиях, но не отвергается для второго порядка в регрессии с временными эффектами, что и необходимо для данной модели. Согласно тесту Саргана, инструменты для GMM оценивания являются подходящими (H_0 не отвергается), а оценки коэффициентов будут состоятельными. Таким образом, регрессия с учетом временных эффектов является более предпочтительной, что ожидаемо для продолжительного временного отрезка.

Дальнейшая интерпретация будет относиться к коэффициентам регрессии с учетом временных эффектов. Коэффициент при лаге темпов роста подушевого ВВП значим на 1% уровне, что оправдывает использование данной спецификации, в сравнении с панельными данными без лагов. Влияние показателя положительно и соответствует ожиданиям. Влияние

Таблица 2. Результаты оценивания влияния темпов роста выбросов парниковых газов на экономическое развитие стран с использованием двухшагового SYS GMM

Факторы	Без учета временных эффектов	С учетом временных эффектов
Лаг темпов роста подушевого ВВП	0.248*** (0.009)	0.396*** (0.014)
Темпы роста валового накопления ОК	0.045*** (0.003)	0.038*** (0.003)
Первый лаг темпов роста валового накопления ОК	0.000 (0.001)	0.017*** (0.002)
Второй лаг темпов роста валового накопления ОК	0.003* (0.002)	0.012*** (0.003)
Темп роста численности занятых	-0.134*** (0.008)	-0.052** (0.014)
Темпы роста выбросов парниковых газов	0.423*** (0.004)	0.310*** (0.015)
Темпы роста энергоэффективности	0.422*** (0.006)	0.388*** (0.014)
2004		0.006***
2005		-0.003***
2006		0.002*
2007		-0.001
2008		-0.017***
2009		-0.033***
2010		0.023***
2011		-0.006***
2012		-0.012***
2013, 2014, 2015, 2016		-0.005***
2017		-0.000
2018		-0.004***
2019		-0.008***
2020		-0.046***
Тест Саргана	0.168	0.502
Автокорреляция 1 порядка	0.000	0.000
Автокорреляция 2 порядка	0.0006	0.397
Тест Вальда для коэффициентов	0.000	0.000
Тест Вальда для временных переменных	—	0.000

Примечание. *, **, *** — значимость на уровне 10, 5 и 1% соответственно. В скобках — стандартные ошибки. Для тестов указаны их *p*-значения.

темпов роста доли валового накопления капитала в ВВП значимо и положительно для текущего периода на 1% уровне, также значимы и положительны коэффициенты при лагах данного показателя в первый и второй периоды. При этом величина влияния на объясняемую переменную и уровень значимости сокращаются по мере увеличения длины лага. Коэффициент при энергоэффективности (темпах роста) имеет положительный знак и значим на 1% уровне. Не считая лага подушевого ВВП, данный фактор имеет наибольшее влияние

на экономическое развитие, что согласуется с результатами других исследований. Отметим, что в регрессии без учета временных эффектов влияние лага темпов роста подушевого ВВП значительно недооценивается, в то время как влияние темпов роста выбросов и энергоэффективности переоценивается.

Временные эффекты улавливают сильное негативное влияние кризиса 2008–2009 гг., последующее восстановление экономики, а также кризис 2020 г. В дальнейших регрессиях оценки получаются схожими.

Влияние выбросов на динамику экономического роста значимо и положительно, что согласуется с результатами (Ghosh et al., 2014; Ahmad, Du, 2017), но противоречит (Bozkurt, Yusuf, 2014; Azam, 2016). Содержательно данный результат говорит о том, что сокращение выбросов без ущерба экономическому развитию невозможно в краткосрочной перспективе. Меры, направленные на достижение климатических целей, могут увеличивать издержки производителей и, соответственно, цену конечной продукции, что отражается на спросе и конкурентоспособности, если говорить о рыночных инструментах регулирования. Прямые ограничительные меры также способствуют замедлению роста предприятий и экономики в целом.

Регрессия с индексом возобновляемой энергетики RISE. Далее в модель в качестве объясняющего фактора включался либо индекс возобновляемой энергетики (RISE), либо его темпы роста. Индекс возобновляемой энергетики оценивается в ограниченном диапазоне (до 100), что позволяет предположить его стационарность без перехода к темпам роста, это подтвердили тесты на стационарность. Однако для интерпретации целесообразно рассматривать оценки замедления экономического роста как от существующих мер контроля, так и от их ужесточения, поэтому оцениваются обе регрессии.

Из-за отсутствия данных за 2000–2009 гг. выборка была укорочена — рассматривались наблюдения за 2010–2020 гг. при включении самого индекса и за 2011–2020 гг. при включении темпов роста. Вид модели совпадал с уравнением (1), только вместо подушевых выбросов CO_2 использовался индекс возобновляемой энергетики RISE. Соответствующие оценки моделей с использованием двухшагового SYS GMM с временными и индивидуальными эффектами представлены в табл. 3.

В сравнении с регрессией, в которую включались выбросы CO_2 , коэффициенты при темпах роста численности занятых и лагах темпов роста валового накопления ОК со второго по четвертый стали незначимыми. Оценки коэффициентов при индексе возобновляемой энергетики или его темпах роста значимы и отрицательны, что свидетельствует о негативном влиянии мер климатического регулирования на экономическое развитие. Однако данный показатель является спорным, т.к. наличие законодательной базы в областях ВИЭ и климатического регулирования не имеет прямого влияния на экономические показатели, поэтому целесообразно также рассмотреть возможность учета механизмов прямого влияния — СТКВ и углеродных налогов.

Отметим, что в данном случае автокорреляция первого порядка не обнаруживается. Вероятнее всего, это обусловлено сокращением длины выборки, из-за чего на коротком промежутке автокорреляционные оценки становятся менее значимыми.

Регрессия с фиктивными переменными углеродного регулирования. В рамках модели предлагается не рассматривать местные и региональные налоги и СТКВ из-за их малого масштаба и сложности учета. К базе данных добавлены два вектора фиктивных переменных — 1, если данная страна в данный год реализовывала СТКВ / углеродный налог и 0,

Таблица 3. Результаты оценивания влияния законодательства в области ВИЭ (значения индекса RISE по ВИЭ) на экономическое развитие

Факторы	Регрессия с RISE	Регрессия с темпом роста RISE
Лаг темпов роста подушевого ВВП	0.298*** (0.021)	0.265*** (0.025)
Темпы роста валового накопления ОК	0.045*** (0.005)	0.047*** (0.005)
Лаг темпов роста валового накопления ОК	0.053*** (0.003)	0.049*** (0.005)
Темп роста численности занятых	0.035 (0.025)	0.054 (0.035)
Темпы роста энергоэффективности	0.160*** (0.016)	0.174*** (0.019)
Индекс RISE	−0.0001*** (0.000)	
Темп роста индекса RISE		−0.005*** (0.002)
Тест Саргана	0.6114	0.3956
Автокорреляция 1 порядка	0.3439	0.2517
Автокорреляция 2 порядка	0.8055	0.7737
Тест Вальда для коэффициентов	0.0000	0.0000
Тест Вальда для временных переменных	0.0000	0.0000

Примечание. *, **, *** — значимость на уровне 10, 5 и 1% соответственно. В скобках — стандартные ошибки. Для тестов указаны их *p*-значения.

если нет. Корреляция между фиктивными переменными невелика — 0.33 для объединенных векторов наблюдений по странам и годам и примерно 0.44 в разрезе по годам. Вид регрессии с фиктивными переменными аналогичен (1), но вместо *COreg* брались по отдельности или вместе фиктивные переменные *Tax* (для налогов) и *ETS* (для СТКВ).

При включении в регрессии фиктивных переменных для СТКВ или углеродных налогов по отдельности их влияние оказывается значимым на 1–5% уровне, при этом знак в обоих случаях отрицателен (табл. 4).

Содержательная интерпретация других факторов не изменилась по сравнению с регрессией с CO_2 , значения лага темпов роста подушевого ВВП, валового накопления капитала, энергоэффективности изменились в пределах 10%.

Отрицательный коэффициент при фиктивных переменных интерпретируется как негативный эффект от мер климатического регулирования. При установлении целевых показателей снижения выбросов страны применяют принудительные меры регулирования, которые чаще всего выражаются в форме установления цены на углерод. В рамках СТКВ она определяется рыночным равновесием, при использовании налогов цену напрямую определяет государство. Однако в любом случае это приводит к увеличению издержек, снижению конкурентоспособности и замедлению темпов роста. Одновременное включение обеих фиктивных переменных приводит к снижению значимости коэффициента при СТКВ.

Это может быть обусловлено пересечением показателей у стран, реализующих обе меры. Наднациональная СТКВ, реализуемая в ЕС, считается более жесткой, чем дополнительные

Таблица 4. Результаты оценивания влияния углеродных налогов и СТКВ на экономическое развитие с использованием двухшагового SYS GMM с индивидуальными эффектами

Факторы	Углеродный налог	СТКВ	Обе меры
Лаг темпов роста подушевого ВВП	0.411*** (0.023)	0.420*** (0.023)	0.415*** (0.023)
Темпы роста валового накопления ОК	0.053*** (0.007)	0.052*** (0.006)	0.052*** (0.006)
Лаг темпов роста валового накопления ОК	0.037*** (0.004)	0.037*** (0.004)	0.036*** (0.004)
Второй лаг темпов роста валового накопления ОК	0.019*** (0.003)	0.019*** (0.003)	0.019*** (0.003)
Темп роста численности занятых	-0.079** (0.027)	-0.083** (0.027)	-0.077** (0.028)
Темпы роста энергоэффективности	0.185*** (0.012)	0.184*** (0.013)	0.185*** (0.012)
Углеродный налог	-0.005*** (0.001)		-0.004*** (0.001)
СТКВ		-0.004*** (0.001)	-0.000 (0.001)
Тест Саргана	0.7079	0.6925	0.7601
Автокорреляция 1 порядка	0.0648	0.0080	0.0231
Автокорреляция 2 порядка	0.3646	0.3119	0.3522
Тест Вальда для коэффициентов	0.0000	0.0000	0.0000
Тест Вальда для временных переменных	0.0000	0.0000	0.0000

Примечание. *, **, *** — значимость на уровне 10, 5 и 1% соответственно. В скобках — стандартные ошибки. Для тестов указаны их *p*-значения.

страновые налоги, которые зачастую вводятся на узкие категории топлив (Chiu et al., 2015). Однако моделирование с использованием фиктивных переменных не может отразить степень жесткости. В таком случае в регрессии с одновременным включением показателей коэффициент при факторе налога продолжает оставаться значимым, объясняя большую часть негативного эффекта. При этом в регрессиях, где факторы включаются по отдельности, оценки их влияния значимы и схожи.

6. Заключение

В данном исследовании рассмотрены различные индикаторы климатической политики, которая имеет все большее влияние на экономику в современном мире. Проблемой выбора индикатора является отсутствие однозначной количественной характеристики государственной политики в области климата.

Динамика выбросов парниковых газов, как обобщенный индикатор эффективности мер климатического регулирования, имеет несколько значительных недостатков. В первую очередь это связано с тем, что на него влияет динамика экономического роста, что приводит к ложной регрессии при построении большинства видов эконометрических моделей. Также

присутствуют проблемы измеримости выбросов в отдельных секторах экономики, а сами измерения проводятся достаточно редко (ежегодно), что ведет к недостатку наблюдений.

Использование других показателей также порождает различные проблемы. В работе рассмотрены индикаторы на основе принятия законодательных актов в области климатического регулирования и фиктивные переменные на основе информации о наличии углеродного налога или системы торговли квотами на выбросы (СТКВ). Коэффициенты при индикаторах на основе законодательных актов значимы в регрессиях, но не отражают влияние мер в моменте, из-за чего являются спорными показателями для моделирования. Одно наличие регулирующих правил и стратегических целей не отражает степень жесткости климатических мер. Фиктивные переменные на основе информации о наличии углеродного налога или СТКВ демонстрируют значимое негативное влияние, но их применение также ограничено.

За рамками работы остались различные льготы для предприятий зеленой энергетики, государственные инвестиции в зеленые технологии и т. п. Данные меры являются слишком разрозненными для включения в регрессии и не отражают негативного влияния за счет политики ограничения выбросов.

Таким образом, выбросы парниковых газов остаются наиболее распространенным фактором в регрессиях, рассматривающих вопросы климатического регулирования. Оценки с использованием подхода SYS GMM выявили значимое негативное влияние политики сокращения выбросов на уровень экономического развития для выборки из 70 стран. Аналогичный результат получается при включении в регрессию фиктивных переменных на основе информации о наличии углеродного налога или СТКВ и темпов роста индекса RISE — введение данных мер регулирования и законодательных актов замедляет экономический рост стран на 0.4–0.5%, что подтвердило основную гипотезу исследования.

В 2019 г. Россия приняла Парижское соглашение, в рамках которого она должна достичь к 2030 г. уровня выбросов парниковых газов, не превышающего 70% от уровня 1990 г. Исполнение данных обязательств может быть осуществлено без введения дополнительных мер регулирования в силу того, что после распада СССР в России произошло значительное сокращение производства, а соответственно и выбросов, и длительный период экономический рост имел восстановительный характер.

Относительно текущих показателей, российские цели по снижению выбросов также менее амбициозны, чем в других странах. В странах Евросоюза к 2030 г. планируется сократить выбросы на 55% по сравнению с 2019 г. и достигнуть углеродной нейтральности к 2050 г. В рамках Стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов предполагается, что в России к 2030 г. выбросы вырастут на 8% относительно 2020 г., а к 2050 г. на 25%. Достижение данных целей требует ужесточения углеродной политики. Климатическая доктрина РФ, утвержденная в октябре 2023 г., устанавливает цель по достижению углеродной нейтральности не позднее 2060 г.

В России рассматриваются как варианты введения углеродных налогов, так и реализация национальной системы торговли квотами на выбросы. Апробирование использования СТКВ на региональном уровне проходит в Сахалинской области.

В данном исследовании Россия была включена в общую выборку стран, поэтому общие выводы распространяются и на нее. Степень негативного влияния на темпы роста экономики в России, вероятно, окажется ниже, чем в среднем по странам. Цены на углерод, формируемые в рамках СТКВ, не рассматривались из-за технических сложностей учета, но поскольку Россия ставит менее жесткие цели по сокращению выбросов, можно предположить, что они

будут ниже, чем в ЕС. Менее жесткое регулирование приведет к меньшему падению темпов роста экономики (0.6–0.7% в среднем по странам). Тем не менее, дополнительное климатическое регулирование может оказать значительное негативное влияние на темпы экономического роста, что необходимо учитывать при разработке соответствующих политик.

Благодарности. Статья подготовлена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-78-10157.

Список литературы

- Гильмундинов В. М., Тагаева Т. О., Бокслер А. И. (2020). Анализ и прогнозирование процессов обращения с отходами в РФ. *Проблемы прогнозирования*, 1 (178), 126–134.
- Михалищев С., Раскина Ю. (2016). Экологическая кривая Кузнеца: случай России. *Финансы и бизнес*, 1, 17–39.
- Селищева Т. А. (2018). Проблемы устойчивого развития экономики в странах Евразийского экономического союза. *Проблемы современной экономики*, 2 (66), 15–21.
- Тагаева Т. О. (2011). Совершенствование механизма экологических платежей с использованием результатов прогноза эколого-экономического развития РФ. *Проблемы прогнозирования*, 3, 143–153.
- Шкиперова Г. Т. (2013). Экологическая кривая Кузнеца как инструмент исследования регионального развития. *Экономический анализ: теория и практика*, 19 (322), 8–16.

Англоязычные источники см. ниже в References.

Поступила в редакцию 25.10.2024
принята в печать 27.03.2025.

Приложение

Корреляционная матрица показателей, включенных в базу данных исследования (2020 г.)

Факторы	GDPper	GDP	K	C	L	P	E	CO	COper	Eper
ВВП (GDP)	0.98									
Доля валового накопления капитала в ВВП (K)	–0.01	–0.04								
Доля потребительских расходов в ВВП (C)	–0.18	–0.13	0.18							
Численность занятых (L)	0.31	0.30	0.13	–0.03						
Численность населения (P)	–0.08	0.11	–0.15	0.24	–0.07					
Энергопотребление (E)	0.46	0.45	0.04	0.10	0.18	0.00				
Выбросы CO ₂ (CO)	0.38	0.40	–0.06	0.17	0.07	0.11	0.83			
Подушевые выбросы CO ₂ (COper)	0.39	0.39	–0.05	0.14	0.07	–0.01	0.84	0.99		
Подушевое энергопотребление (Eper)	0.46	0.43	0.06	0.06	0.19	–0.16	0.99	0.81	0.83	
Энергоэффективность (Ef)	0.38	0.40	–0.06	–0.22	0.09	0.10	–0.64	–0.53	–0.54	–0.65

Komarova A. V., Novikov A. Yu., Filimonova I. V. Assessing the impact of climate policy on the economic development of countries. *Applied Econometrics*, 2025, v. 79, pp. 50–71.

DOI: 10.22394/1993-7601-2025-79-50-71.

Anna Komarova

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation;
a.komarova@g.nsu.ru

Alexander Novikov

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation;
a.novikov2@g.nsu.ru

Irina Filimonova

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation;
filimonovaiv@list.ru

Assessing the impact of climate policy on the economic development of countries

The work examines the relationship between climate policies implemented in different countries and the pace of economic development during the 2000–2020 period. We consider the potential presence of a two-way relationship between indicators. We also analyze the possibility of using emission growth or reduction rates as an indicator of climate policy rigidity. Our paper proposes alternative indicators for modeling the impact of climate policy on a country's economic development. The paper applies a dynamic panel data model estimated with system generalized method of moments.

Keywords: economic growth; greenhouse gas emissions; climate policy; generalized method of moments.

JEL classification: C23; C82; Q58; Q54.

References

- Gil'mundinov V. M., Tagaeva T. O., Boksler A. I. (2020). Analysis and forecasting of waste management processes in Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 1 (178), 126–134 (in Russian).
- Mikhailishev S. G., Raskina Yu. V. (2016). Environmental Kuznets curve: A case of Russia. *Finance and Business*, 1, 17–39 (in Russian).
- Selishcheva T. A. (2018). Problems of sustainable economic development in EEC countries. *Problems of Modern Economics*, 2 (66), 15–21 (in Russian).
- Tagaeva T. O. (2011). Improving environmental charges using results of the forecast of the environmental and economic development of the Russian Federation. *Studies on Russian Economic Development*, 3, 143–153 (in Russian).
- Shkiperova G. T. (2013). Ecological Kuznets curve as a tool for studying regional development. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 19 (322), 8–16 (in Russian).
- Ahmad N., Du L. (2017). Effects of energy production and CO₂ emissions on economic growth in Iran: ARDL approach. *Energy*, 123, 521–537. DOI: 10.1016/j.energy.2017.01.144.

- Alam M. M., Murad M. W., Noman A. H. M., Ozturk I. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, 70, 466–479. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.06.043.
- Alonso-Borrego C., Arellano M. (1999). Symmetrically normalized instrumental-variable estimation using panel data. *Journal of Business & Economic Statistics*, 17 (1), 36–49. DOI: 10.1080/07350015.1999.10524795.
- Aparicio S., Urbano D., Audretsch D. (2016). Institutional factors, opportunity entrepreneurship and economic growth: Panel data evidence. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 45–61. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.04.006.
- Azam M. (2016). Does environmental degradation shackle economic growth? A panel data investigation on 11 Asian countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 175–182. DOI: 10.1016/j.rser.2016.06.087.
- Badeeb R. A., Lean H. H., Clark J. (2017). The evolution of the natural resource curse thesis: A critical literature survey. *Resources Policy*, 51, 123–134. DOI: 10.1016/j.resourpol.2016.10.015.
- Bataille C., Melton N. (2017). Energy efficiency and economic growth: A retrospective CGE analysis for Canada from 2002 to 2012. *Energy Economics*, 64, 118–130. DOI: 10.1016/j.eneco.2017.03.008.
- Bergquist A. K., Söderholm K., Kinneryd H., Lindmark M., Söderholm P. (2013). Command-and-control revisited: Environmental compliance and technological change in Swedish industry 1970–1990. *Ecological Economics*, 85, 6–19. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.10.007.
- Bozkurt C., Yusuf A. (2014). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: The Turkish case. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4 (3), 484–494.
- Choi In. (2001). Unit root tests for panel data. *Journal of International Money and Finance*, 20 (2), 249–272. DOI: 10.1016/S0261-5606(00)00048-6.
- Chiu F. P., Kuo H. I., Chen C. C., Hsu C. S. (2015). The energy price equivalence of carbon taxes and emissions trading — theory and evidence. *Applied Energy*, 160, 164–171. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.09.022.
- Filimonova I., Komarova A., Mishenin M. (2020). Impact of the global green factor on the capitalization of oil companies in Russia. *Oeconomia Copernicana*, 11 (2), 309–324.
- Ghosh B. C., Alam K. J., Osmani M. A. G. (2014). Economic growth, CO2 emissions and energy consumption: The case of Bangladesh. *International Journal of Business and Economics Research*, 3 (6), 220–227. DOI: 10.11648/j.ijber.20140306.13.
- Gray W. B., Shadbegian R. J. (2003). Plant vintage, technology, and environmental regulation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 46 (3), 384–402. DOI: 10.1016/S0095-0696(03)00031-7.
- Grossman G. M., Krueger A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *NBER Working Papers*, 3914.
- Grossman G. M., Krueger A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), 353–377. DOI: 10.2307/2118443.
- Hassan S. T., Xia E., Khan N. H., Shah S. M. A. (2019). Economic growth, natural resources, and ecological footprints: Evidence from Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (3), 2929–2938. DOI: 10.1007/s11356-018-3803-3.

- Katircioglu S., Gokmenoglu K. K., Eren B. M. (2018). Testing the role of tourism development in ecological footprint quality: Evidence from top 10 tourist destinations. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (33), 33611–33619. DOI: 10.1007/s11356-018-3324-0.
- Komarova A. V., Filimonova I. V., Kartashevich A. A. (2022). Energy consumption of the countries in the context of economic development and energy transition. *Energy Reports*, 8, 683–690. DOI: 10.1016/j.egy.2022.07.072.
- Levin A., Lin C.-F., Chu. C.-S. J. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108 (1), 1–24. DOI: 10.1016/S0304-4076(01)00098-7.
- Maddala G. S., Wu. S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 631–652. DOI: 10.1111/1468-0084.0610s1631.
- Mardani A., Streimikiene D., Cavallaro F., Loganathan N., Khoshnoudi M. (2019). Carbon dioxide (CO₂) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017. *Science of the Total Environment*, 649, 31–49. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.229.
- Pao H. T., Yu H. C., Yang Y. H. (2011). Modeling the CO₂ emissions, energy use, and economic growth in Russia. *Energy*, 36 (8), 5094–5100. DOI: 10.1016/j.energy.2011.06.004.
- Pelinescu E. (2015). The impact of human capital on economic growth. *Procedia Economics and Finance*, 22, 184–190. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00258-0.
- Porter M. E., Van der Linde C. (1995). Toward a new conception of the environment–competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9 (4), 97–118. DOI: 10.1257/jep.9.4.97.
- Qian X., Wang D., Wang J., Chen S. (2019). Resource curse, environmental regulation and transformation of coal-mining cities in China. *Resources Policy*, 101447. DOI: 10.1016/j.resourpol.2019.101447.
- Ramanathan R., Black A., Nath P., Muyldermans L. (2010). Impact of environmental regulations on innovation and performance in the UK industrial sector. *Management Decision*, 1493–1513. DOI: 10.1108/00251741011090298.
- Rudolph A., Figge L. (2017). Determinants of ecological footprints: What is the role of globalization? *Ecological Indicators*, 81, 348–361. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.04.060.
- Solarin S. A., Al-Mulali U. (2018). Influence of foreign direct investment on indicators of environmental degradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (25), 24845–24859. DOI: 10.1007/s11356-018-2562-5.
- Yang Q., Song D. (2019). How does environmental regulation break the resource curse: Theoretical and empirical study on China. *Resources Policy*, 64, 101480. DOI: 10.1016/j.resourpol.2019.101480.

Received 25.10.2024; accepted 27.03.2025