

Экономический рост в развитых и развивающихся странах при переходе к возобновляемым источникам энергии

© 2024 г. О.В. Кудрявцева, С.В. Чернявский, А.В. Уткина

О.В. Кудрявцева,

Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва; e-mail: olgakud@mail.ru

С.В. Чернявский,

ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: vols85-85@mail.ru

А.В. Уткина,

Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва; e-mail: kanashkina.a@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.03.2023

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-28-00508 «Методология формирования механизмов низкоуглеродного развития российской экономики в новых условиях».

Аннотация. Сегодня экономическое развитие мира неразрывно связано с глобальными экологическими проблемами. В этих условиях актуальным стал поиск решений проблемы без неблагоприятного воздействия на экономический рост. Энергетический переход может неоднозначно влиять на темпы и динамику экономического роста. Цель данной работы — изучить, как динамика объемов инвестиций в возобновляемую энергетику влияет на экономический рост развитых и развивающихся стран, а также проверить гипотезы: 1) для развивающихся стран рост инвестиций в отрасли возобновляемой энергетики стимулирует экономический рост; 2) для развитых стран рост инвестиций в отрасли возобновляемой энергетики затормаживает экономический рост. При увеличении на 1% доли дохода, инвестированной в капитал возобновляемой энергетики, в развитых странах темпы экономического роста понизятся на 0,0001%, в то время как в развивающихся странах — вырастут на 0,0001%. Для развитых стран такое снижение темпов экономического роста можно рассматривать как некую плату за предпочтение будущего состояния окружающей среды перед текущим получением дополнительного выпуска, а для развивающихся стран энергетический переход положительно влияет на темпы экономического роста. Четвертый энергетический переход, основанный на расширении использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и вытеснении ископаемых видов топлива, является решением глобальных экологических проблем, вызванных эмиссией CO₂ в атмосферу. Такой переход необходим, даже при росте экономических издержек, поскольку без него невозможно устойчивое развитие, как текущего, так и будущих поколений.

Ключевые слова: концепция устойчивого развития, зеленая экономика, традиционная энергетика, возобновляемая энергетика, экономический рост, энергоэффективность.

Классификация JEL: C23, C81, O13, Q42, Q43.

УДК: 332.1.

Для цитирования: **Кудрявцева О.В., Чернявский С.В., Уткина А.В.** (2024). Экономический рост в развитых и развивающихся странах при переходе к возобновляемым источникам энергии // *Экономика и математические методы*. Т. 60. № 2. С. 40–49. DOI: 10.31857/S0424738824020049

Сегодня экономическое развитие стран мира неразрывно связано с глобальными экологическими проблемами. При этом важно помнить, что «удовлетворение потребностей человечества должно осуществляться без ущерба для экосистемы»¹. В связи с этим на конференции РИО+20 в 2012 г. была принята *концепция устойчивого развития*, основанная на принципах зеленой экономики (Клапцов, 2012). Многие цели устойчивого развития до 2030 г., принятые в 2015 г. 193 государствами, необходимы для поиска новой модели экономического развития, предполагающей минимизировать вредное воздействие на экосистему. Такой моделью может стать *концепция зеленой экономики*, основным направлением

¹ «Четвертый энергопереход: риски и вызовы для России» // *Ведомости*. 31 января 2021 г. (<https://vedomosti.ru/opinion/articles/2021...energoperehod>).

которой становится переход от традиционных видов топлива к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ).

Таким образом, целью данной работы является выявление влияния динамики объемов инвестиций в возобновляемую энергетику на экономический рост для развитых и развивающихся стран. Для этого необходимо оценить гипотезы:

- 1) для развивающихся стран рост инвестиций в отрасли возобновляемой энергетики стимулирует экономический рост;
- 2) для развитых стран рост инвестиций в отрасли возобновляемой энергетики затормаживает экономический рост.

Эти гипотезы основываются на том, что в развитых странах происходит активное вытеснение финансовых ресурсов из отраслей традиционной энергетики в другие отрасли по причине насыщения энергетического рынка и больших инвестиций в рост энергоэффективности; в развивающихся странах наблюдается рост совокупного потребления энергии без вытеснения традиционных отраслей.

ЧЕТВЕРТЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД. ПРИЧИНЫ И ОСОБЕННОСТИ

В последние десятилетия наблюдается активный рост мощностей ВИЭ, а также сокращение потребления энергии, полученной из ископаемых источников. Этот процесс принято считать основной составляющей, так называемого, *энергетического перехода*. Предшествующие энергетические переходы характеризовались последовательной заменой одного углеродного топлива другим (древесина, каменный уголь, нефть и газ). Последний энергопереход нацелен на использование экологически чистых видов топлива, в первую очередь ВИЭ (солнечная энергия, энергия водных потоков, ветер, приливы, геотермальная теплота, биотопливо и др.).

Главной особенностью возобновляемых энергоресурсов является возможность их получения из постоянно действующих или периодически возникающих естественных природных процессов. Основными источниками ВИЭ принято считать энергию ветра, приливов, гидроэнергию, солнечное излучение, биомассу, геотермальную энергию (Tahvonen, Salo, 2001). К невозобновляемым энергоресурсам относят природные запасы ресурсов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии (нефть, газ, уголь, ядерное топливо). Добыча, переработка, транспортировка, преобразование в электрическую и тепловую энергию традиционных видов топлива негативно влияет на состояние окружающей среды. Новыми приоритетами энергетической политики становятся сокращение эмиссии парниковых газов, улучшение качества воздуха и переход к низкоуглеродным источникам энергии (Прогноз развития энергетики ..., 2019).

Переход от традиционных источников энергии к ВИЭ в настоящее время является одним из главных способов решения экологических проблем. Добыча и использование ископаемого топлива ведет к загрязнению окружающей среды (локальному загрязнению воздуха и накоплению парниковых газов, ведущему к глобальному изменению климата). «Зеленая» энергия может способствовать минимизации влияния факторов потепления климата.

Особое значение для стимулирования четвертого энергетического перехода с целью предотвращения загрязнения окружающей среды имеют международные соглашения, международные правовые инструменты и механизмы ратификации этих соглашений.

Другим стимулом четвертого энергетического перехода является постепенное снижение доходов производителей углеводородов как следствие международных соглашений и политики некоторых стран, предусматривающих налог на углерод и/или торговлю квотами на эмиссию CO₂ (Башмаков, 2020; Прогноз развития энергетики ..., 2019).

Основной движущей силой четвертого энергетического перехода являются государственная энергетическая политика и развитие технологий (Прогноз развития энергетики ..., 2019). В современных условиях внедрение новых мощностей ВИЭ, как правило, возможно только при государственной поддержке. Другая особенность состоит в том, что соотношение полученной энергии к затраченной (*energy returned on energy invested, EROEI*)² для получения ископаемого топлива

² Отношение количества пригодной к использованию энергии, полученной из определённого источника энергии, к количеству энергии, затраченной на получение этого энергетического ресурса (<http://neftianka.ru/budushhee-energetiki-opredelit-pokazatel-eroei/>).

в современных условиях резко снижается, но современные возобновляемые источники энергии, как правило, имеют еще более низкий EROEI, чем ископаемые виды топлива (Režný, Bureš, 2019).

Эти факты требуют особого внимания со стороны экономистов, экологов и ученых, в связи с тем, что политика, направленная на резкое сокращение потребления ископаемой энергии, может привести к заметному замедлению экономического роста.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДА К ВИЭ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ

Современный энергетический переход может неоднозначно повлиять на темпы и динамику экономического роста стран мира. Он может открыть новые источники экономического роста, например, внедрение ВИЭ будет способствовать созданию новых рынков зеленых технологий и дополнительных рабочих мест, что в конечном итоге будет стимулировать экономический рост (Blazejczak et al., 2014). Также внедрение ВИЭ стимулирует развитие других рынков за счет межотраслевых отношений — таких как поставка промежуточных ресурсов или производственного оборудования (Blazejczak et al., 2014).

При этом многие исследователи считают, что четвертый энергетический переход может негативно повлиять на экономический рост стран. Это может происходить в том числе за счет оттока инвестиций из других отраслей экономики, что приведет к менее эффективному использованию (более высокой стоимости) капитала и общим повышенным затратам для экономики в целом (Blazejczak et al., 2014; Mercure et al., 2019). Переход к декарбонизированной энергетической системе требует значительных вложений в НИОКР в области энергетики, удлинению цепочек поставок и др., что может значительно превысить затраты по сравнению с традиционным сценарием развития.

Подобное вытеснение может наблюдаться и в случае с рабочей силой, но при завершении энергетического перехода, когда низкоуглеродные технологии заменят в достаточной степени высокоуглеродные, процесс вытеснения прекратится и последует восстановление экономического роста за счет повышения производительности и снижения импорта невозобновляемых источников энергии (Mercure et al., 2019).

Также современный переход тесно связан с декарбонизацией энергоемких отраслей промышленности, что может привести к потерям прибылей компаний (например, предприятий черной металлургии) и ограничить их инвестиционную деятельность (Яшалова, Васильцов, Потравный, 2020).

Немаловажно, что четвертый энергетический переход также значительно уменьшит доходы стран-нефтеэкспортеров за счет сокращения соответствующей статьи экспорта из-за падения мирового спроса на невозобновляемые ресурсы. Для России данная проблема, как и в целом перспективы декарбонизации, представляет особую важность при обозначении приоритетов промышленной политики с учетом изменений в мировой экономике за последние несколько лет (Kudryavtseva, Kurdin, 2023; Kudryavtseva, Kurdin, Yakovleva, 2022).

ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Классической работой, связанной с моделированием экономического роста, является статья (Mankiw, Romer, Weil, 1992), цель которой — эмпирически проверить модель Солоу (Solow, 1956). Эта модель основана на стандартной неоклассической производственной функции с убывающей отдачей от капитала. Предпосылками модели служат экзогенность нормы сбережений и темп роста населения. Различия в устойчивых состояниях разных стран обуславливаются разными нормами сбережений, положительно влияющими на экономический рост, а также разными темпами роста населения, влияющими на него негативно.

Эмпирическая модель (Mankiw, Romer, Weil, 1992) построена на годовых данных Summers–Neston data set³ за период 1960–1985 гг. с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Она подтверждает направления влияния этих показателей на логарифм темпа прироста ВВП на человека трудоспособного возраста. Однако эта модель не подтверждает силы этого влияния, что объясняется невключением в оригинальную модель человеческого капитала. Авторы

³Основные страновые социально-экономические показатели (<https://www.bristol.ac.uk/depts/Economics/Growth/summers.htm>).

(Mankiw, Romer, Weil, 1992) вводят человеческий капитал в производственную функцию Кобба–Дугласа, которая принимает вид

$$Y(t) = K(t)^\alpha H(t)^\beta (A(t)L(t))^{1-\alpha-\beta},$$

где Y — выпуск; K — физический капитал; H — человеческий капитал; A — уровень развития технологий; L — труд.

При оценке регрессии, включающей логарифм доли дохода, инвестированной в человеческий капитал, помимо логарифма доли дохода, инвестированной в физический капитал, и логарифма суммы темпов роста населения, темпа технологического прогресса и нормы выбытия капитала, сила и направление влияния оцениваемых регрессоров совпадают с теоретической (Mankiw, Romer, Weil, 1992).

Во многих последующих исследованиях экономического роста модель (Mankiw, Romer, Weil, 1992) принималась в качестве базовой и дополнялась необходимыми переменными. Так, в работе (Brock, Taylor, 2010) авторы объединили модель Солоу с экологической кривой Кузнецца (зависимость состояния окружающей среды от дохода представляет из себя перевернутую U-образную кривую), с экзогенным технологическим прогрессом, показателем технологического прогресса в борьбе с загрязнением окружающей среды и оценивали ее на панельных данных по 173 странам за период 1960–1998 гг. (до Киотского соглашения). Норма сбережений и борьба с загрязнением в модели считались экзогенными. Авторы статьи приводят подробный вывод уравнения регрессии, основанный на модели Солоу и предположениях. В результате зависимыми переменными является логарифм выбросов вредных веществ на душу населения, логарифм нормы сбережений и логарифм суммы темпов роста населения, темпов технологического прогресса и нормы выбытия.

В современных работах по данной теме часто встречается *показатель открытости экономики* как фактор экономического роста и приводится эмпирическое доказательство положительного влияния этого параметра на экономический рост, также основанное на классической модели Солоу (Busse, Koeniger, 2012). Каналами влияния открытости экономики на экономический рост являются «эффективное распределение ресурсов, реализация экономии на масштабе, стимулирование распространения знаний, способствование техническому прогрессу и поощрение конкуренции как на внутреннем, так и на международных рынках, что приводит к оптимизации производственных процессов и разработке новых продуктов» (Busse, Koeniger, 2012). Однако некоторые формы *протекционизма*, например защита зарождающейся отрасли для развития определенных отраслей или секторов или стратегическая торговая политика в ключевых секторах, могут быть полезны для экономического развития.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

По аналогии с эмпирическими работами основой для нашего эконометрического исследования является модель (Solow, 1956), которая дополняется включением в классическую производственную функцию Кобба–Дугласа трех типов капитала: капитала возобновляемой энергетики, остального физического капитала и, по аналогии с (Mankiw, Romer, Weil, 1992), — человеческого. Новизна модели состоит во включении в нее прокси-переменной для обозначения капитала в возобновляемой энергетике. Подобное выделение можно найти в теоретических статьях (например, в (Court, Jouvet, Lantz, 2018)), однако такое расширение производственной функции не подвергалось эмпирической проверке.

Таким образом, производственная функция имеет вид

$$Y(t) = K_{green}(t)^\alpha K_{other}(t)^\beta H(t)^\gamma (A(t)L(t))^{1-\alpha-\beta-\gamma}, \tag{1}$$

где Y — выпуск; K_{green} — капитал возобновляемой энергетики; K_{other} — физический капитал за исключением капитала возобновляемой энергетики; H — человеческий капитал; A — уровень развития технологий; L — труд.

Пусть $s_{k_{green}}$ — доля дохода, инвестированная в капитал возобновляемой энергетики; $s_{k_{other}}$ — доля дохода, инвестированная в физический капитал за исключением капитала возобновляемой энергетики; s_h — доля дохода, инвестированная в человеческий капитал. Эволюция экономики описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{k}_{green}(t) &= s_{k_{green}} y(t) - (n + g + \delta) k_{green}(t), \quad \dot{k}_{other}(t) = s_{k_{other}} y(t) - (n + g + \delta) k_{other}(t), \\ \dot{h}(t) &= s_h y(t) - (n + g + \delta) h(t), \end{aligned} \tag{2}$$

где $y = Y / AL$, $k_{green} = K_{green} / AL$, $k_{other} = K_{other} / AL$ и $h = H / AL$ — объемы капитала на единицу эффективного труда; n — темпы прироста населения; g — темпы технологического прогресса, δ — норма выбытия капитала.

Предполагается, что норма выбытия для капитала возобновляемой энергетики, физического капитала за вычетом капитала возобновляемой энергетики и человеческого капитала, по аналогии с моделью (Mankiw, Romer, Weil, 1992), одинаковая. Также предполагается, что $\alpha + \beta + \gamma < 1$, а это соответствует убывающей отдаче от капитала.

В устойчивом состоянии экономика описывается следующими уравнениями:

$$k_{green}^* = \left(s_{k_{green}}^{1-\beta-\gamma} s_{k_{other}}^\beta s_h^\gamma / (n+g+\delta) \right)^{1/(1-\alpha-\beta-\gamma)}, \quad k_{other}^* = \left(s_{k_{green}}^\alpha s_{k_{other}}^{1-\alpha-\gamma} s_h^\gamma / (n+g+\delta) \right)^{1/(1-\alpha-\beta-\gamma)}, \quad (3)$$

$$h^* = \left(s_{k_{green}}^\alpha s_{k_{other}}^\beta s_h^{1-\alpha-\beta} / (n+g+\delta) \right)^{1/(1-\alpha-\beta-\gamma)}.$$

Подставив уравнения (3) в производственную функцию (1) и логарифмировав обе стороны уравнения, получим

$$\ln\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right) = \ln A(0) + gt - \frac{\alpha + \beta + \gamma}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln(n + g + \delta) + \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln(s_{k_{green}}) + \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln(s_{k_{other}}) + \frac{\gamma}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln(s_h). \quad (4)$$

Это уравнение показывает, как доход на душу населения зависит от роста населения и накопления капитала возобновляемой энергетики, физического капитала за вычетом капитала возобновляемой энергетики и человеческого капитала.

Этот метод позволяет учесть эффекты, отражающие особенности, характерные для каждой страны и не изменяющиеся с течением времени (например, начальный уровень технологического развития). Более того, в оцениваемой модели регрессоры также взяты с лагами в 1–2 года относительно зависимой переменной. Это связано с тем, что объемы инвестиций в различные типы капитала не мгновенно влияют на экономический рост и инвестиционные проекты, как правило, осуществляются в течение нескольких лет.

В качестве контрольной переменной в модель включен показатель открытости экономики (по аналогии с показателями из статей (Busse, Koeniger, 2012; Fetahi-Vehapi, Sadiku, Petkovski, 2015)). Такой регрессор часто встречается в таких эмпирических моделях, оценивающих влияние интересующих показателей на экономический рост, как государственный долг, тип монетарной политики и др.

Итак, окончательно модель выглядит следующим образом:

$$\ln\left(\frac{Y_{it}}{L_{it}}\right) = \beta_0 + \beta_1 \ln\left(\frac{Y_{it-1}}{L_{it-1}}\right) + \ln\left(\frac{I_{green\ it-2}}{GDP_{it-2}}\right) + \ln\left(\frac{I_{other\ it-2}}{GDP_{it-2}}\right) + \ln(HC_{it-1}) + \ln(n_{it} + g + \delta) + \ln(Open_{it-2}) + a_i + \varepsilon_{it}, \quad (5)$$

где Y_{it} / L_{it} — выпуск на единицу рабочей силы; Y_{it-1} / L_{it-1} — первый лаг этого показателя; $I_{green\ it-2} / GDP_{it-2}$ — доля дохода, инвестированная в капитал возобновляемой энергетики (второй лаг); $I_{other\ it-2} / GDP_{it-2}$ — доля дохода, инвестированная в физический капитал за исключением капитала возобновляемой энергетики (второй лаг); HC_{it-1} — доля дохода, инвестированная в человеческий капитал (первый лаг); n_{it} — темпы прироста населения; g — темпы технологического прогресса; δ — норма выбытия капитала; $Open_{it-2}$ — открытость экономики (второй лаг); a_i — постоянные во времени страновые эффекты; ε_{it} — идиосинкратические шоки.

Рассматриваемая модель позволяет выяснить, преобладает ли вытеснение рабочей силы и инвестиций из других, не относящихся к возобновляемой энергетике отраслей экономики, что понизит эффективность использования капитала, или, напротив, рост капитала возобновляемой энергетики будет способствовать созданию новых рынков, что создаст дополнительные рабочие места, и стимулировать развитие других рынков за счет межотраслевых отношений.

Кроме этого, в развитых странах может происходить активное вытеснение капитала из других отраслей в результате насыщения энергетического рынка и больших инвестиций в рост

энергоэффективности, в то время как в развивающихся странах будет наблюдаться рост совокупного потребления энергии без вытеснения традиционных отраслей.

Выбор данных, используемых для оценки модели с целью проверки гипотез, будет приведен в следующем разделе.

ВЫБОР ДАННЫХ

Приведенная выше модель оценивается на основе годовых панельных данных из баз Bloomberg⁴ и World Bank Development Indicators⁵ за 2004–2018 гг. для выборок из 20 развитых и 13 развивающихся стран (табл. 1).

Таблица 1. Список стран, включенных в соответствующие выборки

Развитые страны		Развивающиеся страны	
Код страны	Страна	Код страны	Страна
AUS	Австралия	BRA	Бразилия
AUT	Австрия	CHL	Чили
BEL	Бельгия	CHN	Китай
CAN	Канада	IDN	Индонезия
DEU	Германия	IND	Индия
DNK	Дания	KOR	Южная Корея
ESP	Испания	MEX	Мексика
FIN	Финляндия	MYS	Малайзия
FRA	Франция	PER	Перу
GBR	Великобритания	PHL	Филиппины
GRC	Греция	SGP	Сингапур
HUN	Венгрия	THA	Таиланд
ITA	Италия	VNM	Вьетнам
JPN	Япония		
NLD	Нидерланды		
NZL	Новая Зеландия		
POL	Польша		
PRT	Португалия		
SWE	Швеция		
USA	США		

Источник: составлено авторами.

Выбор такого короткого промежутка времени (5 лет) обусловлен в первую очередь наличием данных для прокси-переменной доли дохода, инвестированной в капитал возобновляемой энергетики. Статистика по этому показателю имеется также для небольшой части стран. Выбранный нами обобщенный метод моментов успешно применяется для работы с короткими временными рядами и относительно большой кросс-секцией.

Разделение выборки стран на развитые и развивающиеся помогает смягчить проблему гетерогенности, имея при этом достаточное для построения регрессии число наблюдений. Набор данных, используемых для модели, приведен в табл. 2.

Для определения экономического роста использованы данные реального ВВП в ценах 2010 г., а также числа людей в возрасте от 15 лет — сюда вошли люди, которые в настоящее время работают, и люди, которые не имеют работы, но ищут ее. Для очищения временных рядов от циклических колебаний с целью выделения потенциального выпуска использован фильтр Ходрика–Прескотта. Это специальный метод, позволяющий сглаживать временные ряды для выделения трендовой составляющей и устранения из них циклической компоненты.

⁴ <https://www.bloomberg.com/graphics/climate-change-data-green/investment.html>

⁵ <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

Таблица 2. Данные, используемые в модели

Переменная	Показатель	Данные	Источник
Y_{it} / L_{it}	Отношение выпуска к единице рабочей силы (экономический рост)	GDP (constant 2010 US\$), Labor force, Total	World Bank Development Indicators
$I_{green\ it-2} / GDP_{it-2}$	Доля дохода, инвестированная в капитал возобновляемой энергетики	Renewable investment (current US\$), GDP (current US\$)	Bloomberg, World Bank Development Indicators
$I_{other\ it-2} / GDP_{it-2}$	Доля дохода, инвестированная в физический капитал, за исключением капитала возобновляемой энергетики	Gross savings (% GDP), Renewable investment (current US\$), GDP (current US\$)	Bloomberg, World Bank Development Indicators
HC_{it-1}	Доля дохода, инвестированная в человеческий капитал	School enrollment, secondary (% gross)	World Bank Development Indicators
n_{it}	Темпы прироста населения	Labor force, total	World Bank Development Indicators
$Open_{it-2}$	Открытость экономики	Trade (%GDP)	World Bank Development Indicators

Источник: составлено авторами.

По аналогии с моделью (Mankiw, Romer, Weil, 1992), в которой в качестве прокси для нормы сбережения используется доля реальных инвестиций в реальном ВВП, в нашей работе доля дохода, инвестированная в капитал возобновляемой энергетики, рассчитывается как доля инвестиций в возобновляемую энергетику к ВВП в том же периоде. Показатель включается в модель со вторым лагом, что обусловлено сроками реализации инвестиционных проектов.

Доля дохода, инвестированная в физический капитал за исключением капитала возобновляемой энергетики, находится из нормы сбережений за вычетом доли инвестиций в возобновляемую энергетику к ВВП. Регрессор также включается со вторым лагом.

В качестве прокси для переменной доли дохода, инвестированного в человеческий капитал, используется показатель отношения общего числа учащихся в средней школе, независимо от возраста, к численности возрастной группы, официально соответствующей указанному уровню образования. Показатель, отражающий охват среднего образования, был выбран в соответствии с работами (Mankiw, Romer, Weil, 1992; Busse, Koeniger, 2012), в которых в качестве прокси был взят процент населения трудоспособного возраста, учащегося в средней школе. Такой выбор показателя несовершенен, так как не учитывает других составляющих человеческого капитала, например инвестиции в здоровье или в другие ступени образования, однако его общая динамика должна соответствовать динамике инвестиций в человеческий капитал.

Показатель темпов прироста населения отражает динамику численности населения в возрасте от 15 лет, представляющих собой рабочую силу. Он включается в модель без лага, поскольку влияет на темп экономического роста в тот же период.

Темпы технологического прогресса, а также норма выбытия капитала считаются постоянными во времени и одинаковыми для всех стран, согласно (Mankiw, Romer, Weil, 1992). В работах (Mankiw, Romer, Weil, 1992; Busse, Koeniger, 2012) сумма этих показателей оценивается как 0,05, в то время как в большинстве других исследований темпы технологического роста и норма выбытия капитала не учитываются при моделировании. Для расчета регрессора $\ln(n_{it} + g + \delta)$ сумма темпов технологического прогресса и нормы выбытия капитала также принимается равной 0,05.

Открытость экономики, в соответствии с работой (Fetahi-Vehapi, Sadiku, Petkovski, 2015), рассчитывается как сумма экспорта и импорта, деленная на ВВП.

Далее приводится оценка модели (5) на данных, описанных в данном разделе. Выделение тренда динамики ВВП при помощи фильтра Ходрика–Прескотта и предварительная обработка данных проведены в среде программирования RStudio. Уравнение регрессии (5) оценивается через метод обобщенных моментов (GMM) в эконометрическом пакете EViews.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫВОДЫ

Согласно результатам моделирования при увеличении на 1% доли дохода, инвестированной в капитал возобновляемой энергетики, в развитых странах темпы экономического роста понизятся на 0,0001%, а в развивающихся странах — вырастут на 0,0001%. Оценки значимы на уровнях 1 и 10%

Таблица 3. Результаты оценки уравнения (5) с помощью метода GMM на годовых панельных данных за 2004–2018 гг. на выборках 20 развитых и 13 развивающихся стран (зависимая переменная: выпуск на единицу рабочей силы (Y_{it} / L_{it}))

Регрессор	Развитые страны	Развивающиеся страны
$\ln(Y_{it-1} / L_{it-1})$ — лаг зависимой переменной	0,99*** (0,0022)	0,97*** (0,005)
$\ln(I_{green\ it-2} / GDP_{it-2})$ — доля дохода, инвестированная в капитал возобновляемой энергетики	-0,0001*** (0,0000)	0,0001* (0,0000)
$\ln(I_{other\ it-2} / GDP_{it-2})$ — доля дохода, инвестированная в физический капитал за исключением капитала возобновляемой энергетики	0,005*** (0,0003)	0,008*** (0,0028)
$\ln(HC_{it-1})$ — доля дохода, инвестированная в человеческий капитал	-0,0005 (0,0042)	0,02** (0,0076)
$\ln(n_t + g + \delta)$ — сумма темпов прироста населения, темпов технологического прогресса и нормы выбытия капитала	-0,0006* (0,0003)	-0,002** (0,0008)
Открытость экономики (для развитых стран $\ln(Open_{it-1})$, для развивающихся стран $\ln(Open_{it-2})$)	-0,005*** (0,0008)	-0,003*** (0,0008)
Страновые эффекты	Да	Да
Число наблюдений	216	108

Примечание. В скобках указаны робастные стандартные ошибки. Символами «*», «**», «***» отмечены оценки, значимые на уровне 10, 5 и 1% соответственно.

Источник: составлено авторами.

соответственно. Небольшая величина влияния объясняется тем, что по-прежнему потребление возобновляемой энергии занимает небольшую долю в мировом энергобалансе, и, вероятно, в дальнейшем это влияние станет более значительным (табл. 3).

Получившиеся знаки оценок при регрессорах долей дохода, инвестированных в капитал возобновляемой энергетики, для развитых и развивающихся стран разнонаправлены. Для развитых стран это явление можно объяснить тем, что в этих странах оптимум капитала почти достигнут, а энергетический рынок насыщен. Таким образом, переход на потребление возобновляемых энергоресурсов лишь меняет структуру энергобаланса, не внося вклада в рост совокупного выпуска энергии. Рост возобновляемой энергетики сопровождается пропорциональным сворачиванием уже имеющихся предприятий, добывающих ископаемые ресурсы и работающих на ископаемом топливе. Особенно это касается угля как источника энергии с наибольшими вредными выбросами в атмосферу. Этот процесс дополняется затратами на структурные преобразования, что выражено в больших объемах инвестиций в возобновляемую энергетику. Так происходит вытеснение капитала из других отраслей экономики, особенно этот процесс выражен в отраслях, традиционно добывающих и использующих ископаемое топливо. Для развивающихся стран, напротив, реализация инвестиционных проектов в области ВИЭ способствует росту совокупного выпуска энергетической отрасли, дополнительно стимулируя развитие других рынков, с одной стороны — через спрос на материалы для строительства новых мощностей ВИЭ, а с другой — через предложение дополнительных объемов энергии. Такой процесс стимулирует создание новых рабочих мест, что положительно стимулирует экономический рост.

Тем не менее, в теоретических моделях, рассматривающих влияние энергетического перехода на экономический рост, отмечается, что по завершению энергетического перехода *темпы экономического роста восстанавливаются*, когда потребление ВИЭ в достаточном объеме заместит потребление ископаемых энергоресурсов (Tahvonon, Salo, 2001). Более того, так как большинство стран находится на ранней стадии четвертого энергетического перехода, это создает трудности в оценке его влияния на окружающую среду на текущий момент времени, поэтому такой эффект не учитывается в модели. Однако оценку регрессии при показателе доли дохода, инвестированной в капитал возобновляемой энергетики, для развитых стран можно интерпретировать как некую плату за предпочтение будущего состояния окружающей среды вместо текущего получения дополнительного выпуска.

Оценки коэффициентов при доле дохода, инвестированной в физический капитал — за исключением капитала ВИЭ, — для обеих выборок значимы и положительны, что соответствует результатам, полученным (Mankiw, Romer, Weil, 1992) и др.

Доля дохода, инвестированная в человеческий капитал, оказывается значимой и положительной лишь для развивающихся стран, причем для данной выборки этот показатель значимо влияет на экономический рост. Такие результаты можно объяснить выбором прокси для этого показателя. Вероятно, в развивающихся странах среднее образование получает большая часть населения, поэтому вариация этого показателя мала. В развивающихся странах среднее образование является большим стимулом развития человеческого капитала.

Оценка коэффициента при темпах прироста населения, как и в результатах, полученных (Mankiw, Romer, Weil, 1992), значимая и отрицательная, так как подушевой объем капитала обратно пропорционален увеличению численности населения.

Однако оценки при показателе открытости экономики для обеих выборок получились значимыми и отрицательными, что расходится с результатами (Busse, Koeniger, 2012; Fetahi-Vehapi, Sadiku, Petkovski, 2015). Для развивающихся стран это можно объяснить необходимостью в протекционистской политике с целью развития собственных отраслей производства.

Таким образом, четвертый энергетический переход, связанный с расширением использования ВИЭ и вытеснением ископаемых видов топлива из энергобаланса, является естественным решением экологических проблем, вызванных эмиссией вредных веществ в атмосферу. Стоит учитывать, что это требует больших объемов инвестиций как в развитие технологий для удешевления процесса получения зеленой энергии, так и, непосредственно, в строительство новых мощностей ВИЭ.

Такой процесс неоднозначно может влиять на экономический рост. В работе были выделены четыре канала, через которые может осуществляться это влияние, а именно — занятости, торгового баланса, отраслевой, а также ценовой. Приведенные каналы упоминаются в теоретической литературе, исследующей взаимосвязь энергетических переходов с экономическим ростом, однако отсутствуют их полноценные эмпирические исследования. В эконометрических статьях по данной проблематике, как правило, в качестве исследуемой переменной берется совокупный выпуск, а не экономический рост, а в качестве факторов — динамика потребления возобновляемой энергии. Результаты этих моделей разнятся в зависимости от выборки и периода наблюдения. Также это может происходить за счет того, что динамика ВВП учитывает циклические колебания.

Главным дополнением модели является выделение нового типа капитала — капитала ВИЭ. Это позволило эконометрически оценить регрессию, в которой зависимой переменной является экономический рост, а независимой — доля дохода, направляемая на инвестиции в возобновляемую энергетику.

Эта регрессия оценена при помощи метода обобщенных моментов на основе годовых панельных данных для двух выборок из 20 развитых и 13 развивающихся стран за 2004–2018 гг. Оценки коэффициентов при интересующих регрессорах подтверждают следующие гипотезы:

- 1) в развивающихся странах рост инвестиций в капитал возобновляемой энергетики стимулирует экономический рост;
- 2) в развитых странах рост инвестиций в капитал возобновляемой энергетики тормозит экономический рост.

При увеличении на 1% доли дохода, инвестированной в капитал возобновляемой энергетики, в развитых странах темпы экономического роста понизятся на 0,0001%, в то время как в развивающихся странах — вырастут на такую же величину. Это связано с тем, что в развитых экономиках внедрение зеленых инвестиций требует отказа от уже используемого капитала за счет насыщения энергетического рынка, поэтому на начальном этапе энергетического перехода эффект увеличения доли зеленых инвестиций в ВВП негативный, т.е. превалирует замещение через канал занятости и отраслевой. Однако оценку регрессии при показателе доли дохода, инвестированной в капитал возобновляемой энергетики, для развитых стран можно рассматривать как некую плату за предпочтение будущего состояния окружающей среды перед текущим получением дополнительного выпуска. Для развивающихся стран энергетический переход положительно влияет на экономический рост через те же каналы. Реализация инвестиционных проектов в области возобновляемой энергетики в этих странах способствует росту совокупного выпуска энергетической отрасли, дополнительно стимулируя другие рынки и создавая новые рабочие места.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Башмаков И.А.** (2020). Мониторинг применения низкоуглеродных технологий в России: возможности для ускорения и риски отставания. М.: ЦЭНЭФ. 261 с. Режим доступа: <http://www.cenef.ru/file/Report%202020.pdf> [**Bashmakov I.A.** (2020). *Monitoring the application of low-carbon technologies in Russia: Opportunities*

for acceleration and risks of falling behind. Moscow: Center for Energy Efficiency. 261 p. Available at: <http://www.cenef.ru/file/Report%202020.pdf> (in Russian).]

Клапцов В.М. (2012). Итоги Саммита «РИО+20» // *Бюллетень Национального комитета по исследованию БРИКС*. № 5. Спецвыпуск. Режим доступа: https://www.nkibrics.ru/system/asset_bulletins/data/53cf/aeea/676c/7665/0017/0000/original/bulleten-brics-5.pdf?1406119658 [**Клaптoв В.М.** (2012). RIO+20 Summit Results. *Center for Economic Research, Russia's Institute for Strategic Studies (RISS)*, 29.06.2012, Special Issue. Available at: https://www.nkibrics.ru/system/asset_bulletins/data/53cf/aeea/676c/7665/0017/0000/original/bulleten-brics-5.pdf?1406119658 (in Russian).]

Прогноз развития энергетики мира и России (2019). Под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН, Московская школа управления СКОЛКОВО. 210 с. ISBN: 978-5-91438-028-8. Режим доступа: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019_Rus.pdf [*Forecast of development of the world and Russian energy* (2019). A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin (eds.). Moscow: Institute for Energy Studies, Russian Academy of Sciences, Moscow School of Management Skolkovo. 210 p. ISBN: 978-5-91438-028-8 Available at: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019_Rus.pdf (in Russian).]

Яшалова Н.Н., Васильцов В.С., Потравный И.М. (2020). Декарбонизация черной металлургии: цели и инструменты регулирования // *Черные металлы*. № 8. С. 70–75. [**Yashalova N.N., Vasil'tsov V.S., Potravny I.M.** (2020). Decarbonization of ferrous metallurgy: Goals and regulation tools. *Chernye Metally*, 8, 70–75 (in Russian).]

Economic growth in developed and developing countries in the context of the transition to renewable energy sources

© 2024 O.V. Kudryavtseva, S.V. Chernyavskiy, A.V. Utkina

O.V. Kudryavtseva,

Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow, Russia; e-mail: olgakud@mail.ru

S.V. Chernyavskiy,

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences (CEMI RAS), Moscow, Russia; e-mail: vols85-85@mail.ru

A.V. Utkina,

Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow, Russia; e-mail: kanashkina.a@yandex.ru

Received 09.03.2023

The research was funded by the Russian Science Foundation within the project 23-28-00508 “Methodology for the elaboration of mechanisms for low-carbon development of Russia’s economy in new circumstances”.

Abstract. Today, economic development is inseparably linked with global environmental problems. So, the search for their solutions without adverse influence on economic growth became relevant. The energy transition can ambiguously affect the pace and dynamics of economic growth. The purpose of this work is to identify the influence of the dynamics of investment in renewable energy on economic growth for groups of developed and developing countries and verification of the following hypotheses: for developing countries, the growth of investments in the renewable energy stimulates economic growth. For developed countries, the growth of investments in the renewable energy inhibits economic growth. Research results: with an increase in the share of income invested in the capital of renewable energy by 1% in developed countries the rate of economic growth will decrease by 0.0001%; while in developing countries — will increase by 0.0001%. The indicated reduction in the rate of economic growth for developed countries can be considered as a “payment” for the preference of the future state of ecology before the current receipt of additional release. As for developing countries, the energy transition positively affects the pace of economic growth. The fourth energy transition is a solution for global environmental problems caused by the CO₂ emissions. The fourth energy transition based on the expansion of renewable energy sources and the displacement of fossil fuel is necessary since it is important for sustainable development of current and future generations.

Keywords: the concept of sustainable development, green economy, traditional energy, renewable energy, economic growth, energy efficiency.

JEL Classification: C23, C81, O13, Q42, Q43.

UDC: 332.1.

For reference: **Kudryavtseva O.V., Chernyavskiy S.V., Utkina A.V.** (2024). Economic growth in developed and developing countries in the context of the transition to renewable energy sources. *Economics and Mathematical Methods*, 60, 2, 40–49. DOI: 10.31857/S0424738824020049 (in Russian).