

Ю. В. Раскина

старший преподаватель Европейского университета в Санкт-Петербурге

ФАКТОРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ CO₂ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ: ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Введение

Данное исследование посвящено анализу динамики выбросов диоксида углерода от сжигания топлива (далее CO₂) и факторов, определяющих данную динамику в странах бывшего СССР в период 1990—2011 гг. Выбросы CO₂ вследствие сжигания топлива являются основным антропогенным фактором увеличения количества парниковых газов и вызванного этим увеличением парникового эффекта. Вопрос о том, каким образом эти выбросы распределяются между странами и как это распределение меняется со временем, является одним из ключевых как для проведения политики сокращения загрязнений в мировом масштабе, так и для глобальных прогнозов изменения климата. В основе международных дебатов о принципах проведения глобальной политики в области изменения климата лежат следующие основания: равные права на выбросы на душу населения и концепция «снижения и конвергенции», которая предполагает конвергенцию выбросов на душу населения в странах мира до единого уровня, обеспечивающего безопасный для климата объем выбросов парниковых газов на планете (см., напр.: United Nations Department of Economic, 2009, p. 10). Предположение о конвергенции как выбросов CO₂ на душу населения, так и определяющих эти выбросы переменных: ВВП на душу населения, энергоемкости ВВП, карбоноинтенсивности произведенной энергии — лежит в основе многих глобальных прогнозов изменения климата (см., напр.: Специальный доклад о сценариях выбросов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Nakicenovic et al., 2000)).

Выбор стран бывшего СССР в качестве объекта данного исследования не случаен и объясняется следующими обстоятельствами. Энергоемкость и карбоноинтенсивность ВВП советской экономики была одной из самых высоких в мире, однако с 1990 г. к настоящему времени выбросы CO₂, суммированные по всем странам, входившим ранее в состав СССР, существенно (в 1,5 раза) сократились. Более того, страны бывшего СССР — это, пожалуй, единственная группа стран в мире, которой удалось достигнуть подобного сокращения, в то время как выбросы CO₂ в мире в указанный период выросли в 1,5 раза (рис. 1).

Хотя во многом сокращение выбросов CO₂ в начале рассматриваемого периода было связано со значительным падением ВВП, к настоящему времени ВВП

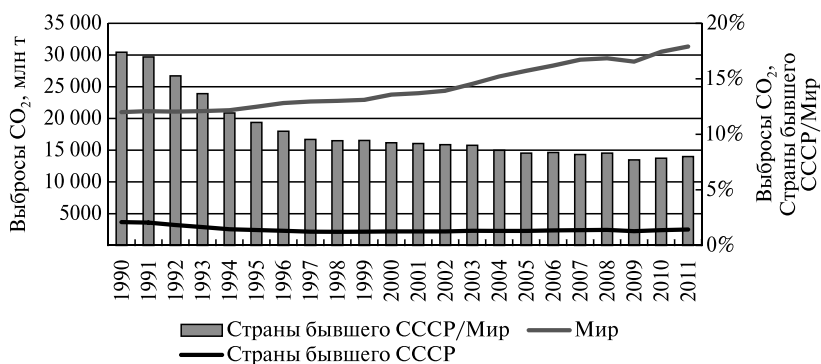


Рис. 1. Выбросы CO_2 от сжигания топлива (левая горизонтальная ось) и отношение выбросов CO_2 в странах бывшего СССР (суммарно) к общемировому количеству выбросов CO_2 (правая горизонтальная ось)

Источник: Emissions from Fuel Combustion, 2013

большинства стран бывшего СССР значительно превзошел уровень 1990 г.¹ В многочисленных эмпирических исследованиях, посвященных изучению взаимосвязи загрязнения атмосферного воздуха выбросами CO_2 и экономического роста, было найдено, что загрязнения растут с экономическим ростом до некоторого момента, затем начинают падать в связи с возрастающим спросом на экологические блага. Уровень ВВП на душу населения, при котором тенденция меняется, оценивается в 17 000—50 000 долл. в зависимости от исследования (дискуссия об оценке точки смены тенденции в литературе содержится, например, в (Richmond, Kaufmann, 2006)). В период начала экономического роста подушевой ВВП стран бывшего СССР был существенно ниже нижней оценки этого уровня (максимальный по выборке подушевой ВВП в 1996 г. был равен среди стран 5300 долл.). При этом уровень загрязнений практически не рос (за исключением случая Казахстана и Туркмении) или даже снижался.

Стоит отметить, что среди стран бывшего СССР выделяется группа стран, богатых природными ресурсами (табл. 1), тогда как другие страны этой выборки вынуждены покупать ископаемые источники энергии на открытом рынке. Относительно недавно в научной литературе была выдвинута гипотеза «углеродного проклятья» (Friedrichs, Inderwildi, 2013), согласно которой страны, богатые природными ресурсами, отстают в снижении промышленных выбросов CO_2 , так как пользуются внутренними, более дешевыми, запасами топлива для производства энергии. Анализ факторов, определяющих выбросы CO_2 в выбранной нами для исследования группе стран, будет полезен для понимания справедливости данной гипотезы в странах с переходной экономикой.

Таким образом, анализ опыта стран бывшего СССР по снижению уровня загрязнений представляется крайне интересным и может внести существенный вклад в дискуссию о взаимосвязи экономического развития и загрязнения окружающей среды, активно продолжающуюся с 1970-х гг. по настоящее время.

Данное исследование ставит перед собой цель ответить на следующие вопросы.

- Существует ли конвергенция выбросов CO_2 на постсоветском пространстве? Более конкретно: мы проверяем гипотезу конвергенции подушевых выбросов CO_2 и углеродоемкости ВВП (количества выбросов CO_2 , приходящихся на единицу ВВП).
- Какой вклад в наблюдаемую динамику выбросов CO_2 вносят следующие факторы: экономический рост, технология потребления энергии (энергоёмкость

¹ Исключение составляют Грузия, Молдова, Таджикистан и Украина.

Таблица 1

Левая панель: разведанные резервы топливных подземных ископаемых в странах бывшего СССР. Правая панель: доля импортируемой энергии, %

Страны	На конец 2013 г.						В 2011 г.	
	Нефть		Газ		Уголь		Страны	%
	млрд барелей	в % мировых резервов	трлн куб. м	в % мировых резервов	млн т	в % мировых резервов		
Азербайджан	7,0	0,4	0,9	0,5	—	—	Молдова	96,32
Казахстан	30,0	1,8	1,5	0,8	33 600	3,8	Беларусь	85,44
Россия	93,0	5,5	31,3	16,8	157 010	17,6	Литва	78,95
Украина	—	—	0,6	0,3	33 873	3,8	Грузия	68,47
Туркмения	0,6	Менее 0,05	17,5	9,4	—	—	Армения	67,34
Узбекистан	0,6	Менее 0,05	1,1	0,6	—	—	Латвия	52,55

Источники: левая панель: Статистический обзор мировой энергетики 2014 компании BP; правая панель: World Development Indicators.

ВВП, или количество энергии, затраченной на производство единицы ВВП) и технология производства энергии (индекс карбонизации¹, или количество выбросов CO₂ на единицу произведенной энергии)?

Для ответа на первый вопрос мы используем методологию Филлипса—Сула (Phillips, Sul, 2007). Данная методология позволяет не только протестировать существование конвергенции во всей панели стран, выбранных для исследования, но и проверить гипотезу существования клубной конвергенции в том случае, если во всей панели стран конвергенция не обнаруживается. Иными словами, данная методология позволяет выделить группы стран (клубы), в которых наблюдается конвергенция к различным равновесным состояниям интересующего нас показателя.

Для ответа на второй вопрос мы обращаемся к тождеству Кая, связывающему выбросы CO₂ с динамикой населения, ВВП, технологией производства и потребления энергии, и проводим анализ клубной конвергенции указанных факторов загрязнения окружающей среды, используя уже упомянутую методологию Филлипса—Сула, а также декомпозиционный анализ данного тождества с использованием среднелогарифмического индекса Дивизиа.

Обзор литературы

В современной литературе можно выделить три подхода к исследованию динамики загрязнений окружающей среды и факторов, обуславливающих эти загрязнения. Первый подход связан с анализом конвергенции таких показателей, как, например, выбросы CO₂ на душу населения (или на единицу ВВП) и (или) энергоёмкость ВВП, среди стран или регионов. Второй подход использует методы декомпозиционного анализа для исследования факторов, обуславливающих наблюдаемую динамику загрязнений. Наконец, третий подход — это исследования в парадигме Экологической кривой Кузнеця, т. е. предполагаемой обратной U-образной связи между уровнем загрязнений и экономическим развитием. В данной работе мы не будем обращаться к третьему подходу, поэтому не приводим подробного обзора литературы по данной теме. При желании читатель

¹ Этот показатель называют также карбоинтенсивностью произведенной энергии.

может найти анализ основных положений концепции Экологической кривой Кузнеця в приложении к выбросам CO_2 , обзор современных исследований по данной тематике и критику данной концепции в работе (Kaika, Zervas, 2013).

Эмпирическая проверка гипотез конвергенции выбросов CO_2 и обуславливающих эти выбросы факторов

Гипотеза конвергенции выбросов CO_2 неоднократно проверялась различными методами для разных групп стран и в разные промежутки времени. Интерес к этой теме мотивирован важностью знания о наличии/отсутствии конвергенции выбросов CO_2 в мире и в отдельных регионах мира и для проведения экологической политики, и для построения долгосрочных прогнозов изменения климата. Как правило, исследователи сходятся в выводе об отсутствии конвергенции поддушевых выбросов CO_2 в мире в период со второй половины XX в. и по настоящее время. Однако во многих исследованиях гипотеза конвергенции уровня загрязнений подтверждается в группах стран, близких по своему экономическому развитию. В исследовании (Aldy, 2006) анализировалась выборка из 88 стран мира и отдельно выборка из 23 стран — членов ОЭСР за период 1960—2000 гг. Автор, основываясь на анализе поведения дисперсии поддушевых выбросов CO_2 и тестах на наличие стохастической конвергенции, показал, что для выборки из 88 стран, репрезентирующей весь мир, нет свидетельств конвергенции, тогда как для развитых стран, представленных выборкой из членов ОЭСР, гипотеза конвергенции поддушевых выбросов CO_2 подтверждается. Надо отметить, страны бывшего СССР анализируются в этой работе как один объект — показатели по всем этим странам после 1990 г. суммируются. Гипотеза конвергенции поддушевых выбросов CO_2 в промышленно развитых странах была подтверждена неоднократно (Romero-Ávila, 2008; Samarero et al., 2008). В статье (Jobert et al., 2010) показано, что в странах Европейского Союза наблюдается абсолютная конвергенция, при этом скорость конвергенции и волатильность уровня загрязнений позволяют выделить группы стран, ведущих себя в отношении выбросов CO_2 сходным образом. Эмпирические свидетельства конвергенции выбросов CO_2 в отдельных группах стран привели исследователей к идее существования клубной конвергенции, т. е. существования групп стран, в которых наблюдается конвергенция к различным клубным равновесным состояниям выбросов CO_2 на душу населения. При помощи методологии Филлипса—Сула в выборке из более 120 стран мира были найдены свидетельства существования двух больших клубов — с высоким и низким равновесным уровнем CO_2 на душу населения (Panoroulou, Pantelidis, 2009). Эта же методология применялась для исследования динамики трех загрязняющих газов — диоксида углерода, оксида азота и оксида серы в странах — членах ОЭСР (Samarero, 2013). Было показано существование двух клубов среди этих стран и нескольких стран, демонстрирующих дивергенцию.

Также неоднократно исследовалась динамика такого фактора выбросов CO_2 , как потребление энергии. А именно, проверялась гипотеза конвергенции потребления энергии на душу населения и (или) энергоёмкости ВВП. Так, исследование (Meng et al., 2013) предоставляет доказательства существования конвергенции использованной энергии, приходящейся на душу населения, в странах ОЭСР. Кроме того, были найдены свидетельства существования конвергенции энергоёмкости ВВП на выборке 98 стран мира за период 1971—2001 гг. (Ezcurrea, 2007). Иные выводы получены в работе (Liddle, 2010): на основе анализа энергоёмкости ВВП в 83 странах мира за период 1971—2008 гг. автор показал, что в случае развитых стран существуют как минимум два клуба с разным уров-

нем энергоемкости ВВП, развивающиеся же страны снижают энергоемкость ВВП большими темпами и могут быть выделены в отдельный клуб. Для стран бывшего СССР была протестирована гипотеза клубной конвергенции энергоемкости ВВП, в результате чего было показано, что в данных странах существует два клуба: с высоким и низким равновесным значениями энергоемкости ВВП (Подкорытова, Раскина, 2014).

Также существуют немногочисленные исследования, посвященные анализу конвергенции индекса карбонизации. Например, эконометрический анализ, проведенный в работе (Zhu et al., 2014) показал, что в мире существует тенденция к конвергенции карбоноинтенсивности произведенной энергии, а экономический рост служит фактором снижения данного показателя.

Наконец, при совместном анализе конвергенции двух факторов выбросов CO₂ — карбоноинтенсивности произведенной энергии и энергоемкости ВВП — в странах ОЭСР выделено несколько клубов стран, сходящихся к различным клубным равновесиям как энергоемкости ВВП, так и индекса карбонизации (Samarero et al., 2013). Результаты этого исследования свидетельствуют, что конвергенция выбросов CO₂ в промышленно развитых странах скорее определяется различиями в конвергенции карбоноинтенсивности энергии, чем в энергоемкости ВВП.

Декомпозиционный анализ факторов выбросов CO₂

Декомпозиционный анализ в исследованиях, посвященных загрязнению окружающей среды, используется для разложения изменения в выбросах загрязняющих веществ в течение долгого времени на несколько эффектов, которые обуславливают эти изменения. В зависимости от целей исследования и доступности данных, декомпозиционная модель может включать разное число факторов изменения загрязнений. Наиболее часто используемая пятифакторная модель включает эффекты изменения общей экономической активности, структуры экономики, энергоэффективности в секторах экономики, структуры потребляемых источников энергии в секторах экономики и карбоноинтенсивности произведенной энергии. В работах, посвященных методологии декомпозиционного анализа, были предложены несколько идеальных (разложение осуществляется без остатка) методов декомпозиции, включая методы, основанные на индексе Ласпейреса, среднелогарифмическом индексе Дивизиа, подходе Шепли. При этом по ряду критериев, среди которых теоретическая обоснованность, простота применения и удобство для интерпретации, выделяют среднелогарифмический индекс Дивизиа (Ang, 2004).

Большинство существующих эмпирических исследований, выполненных с применением данной методологии, сосредотачиваются на анализе факторов CO₂ на национальном уровне. Примеры существуют для Китая (Wang et al., 2005; Zhang et al., 2009; Liu et al., 2012), Японии (Kawase et al., 2006), Греции (Hatzigeorgiou et al., 2010), Турции (Akboştañcı et al., 2011; Lise, 2006) и многих других стран. Среди постсоветских стран объектом декомпозиционного анализа фактора выбросов CO₂ становились прибалтийские страны. Так, проведенный структурный декомпозиционный анализ факторов изменений CO₂ в трех прибалтийских странах за период 1995—2009 гг. показал, что основной движущей силой увеличения выбросов CO₂ в этих странах был экономический рост, который компенсировался снижением карбоноинтенсивности экономики (в Латвии и Литве) и изменением структуры экономики (в Эстонии) (Brizga et al., 2014). Прибалтийские страны анализировались также в составе стран, входящих в Европейский Союз (Saikku et al., 2008). В этой работе применялась четырехфакторная

модель, называемая также в литературе тождеством Кайя¹, где факторами изменения загрязнений служили население, экономическая активность, энергоемкость ВВП и карбоноинтенсивность произведенной энергии. Период исследования охватывал период 1993—2004 гг. Было показано, что основной движущей силой было снижение энергоемкости и карбоноинтенсивности (эти эффекты сильнее проявились для Литвы и Латвии). Как и при анализе конвергенции, постсоветские страны часто рассматриваются как единое целое и в исследованиях, применяющих и эту методологию (показатели по этим странам суммируются). Например, в (Raupach et al., 2007) анализировались движущие силы изменения выбросов CO₂ в мире в период 1990—2005 гг., при этом мир был разделен на девять отдельных регионов, один из которых и составляют страны бывшего СССР. В основе исследования лежало тождество Кайя. Было показано, что, в отличие от других регионов, во второй половине 1990-х гг. растущая энергоэффективность в странах бывшего СССР компенсировала увеличивающийся ВВП, что привело к отсутствию роста выбросов CO₂.

Таким образом, накоплен довольно большой массив литературы по теме конвергенции выбросов CO₂ и факторов, обуславливающих эти выбросы. При помощи различных методов статистического и эконометрического анализа показано, что конвергенция существует в отдельных группах стран. Внутри этих групп — клубов — происходит сходимости к различным равновесным состояниям, тогда как свидетельств того, что в настоящее время существует конвергенция душевых выбросов CO₂, энергоемкости ВВП и карбоноинтенсивности энергии в масштабе мира, не наблюдается. При этом такая группа стран, как страны бывшего СССР, демонстрирующие уникальную специфику в смысле снижения выбросов CO₂ в начале 1990-х гг. и последующий экономический рост без значимого увеличения этих выбросов, практически не изучалась в подобных исследованиях. В существующих исследованиях в выборку входили либо отдельные немногочисленные страны этой группы, либо эта группа рассматривалась как единое целое.

Эмпирическая стратегия

Для ответа на первый вопрос исследования о существовании конвергенции душевых выбросов CO₂ и карбоноинтенсивности ВВП на постсоветском пространстве применим методологию Филлипса—Сула (Phillips, Sul, 2007). Данная методология обладает рядом преимуществ по сравнению с ранее разработанными подходами. В частности, в отличие от методов, развитых в рамках концепции стохастической конвергенции, методология не требует предположения о стационарности временных рядов. Что более важно, методология Филлипса—Сула позволяет выделять клубы — группы стран, сходящихся к частным (клубным) равновесным состояниям, если конвергенция в полной панели не была подтверждена. Помимо выделения клубов, данная методология позволяет идентифицировать страны, не сходящиеся ни к одному из клубных равновесий (демонстрирующих дивергенцию). Таким образом, в случае отвержения гипотезы конвергенции в интересующей нас выборке в целом, мы имеем возможность установить, образуют ли страны бывшего СССР конвергентные клубы или же некоторые из них демонстрируют дивергенцию.

Далее обратимся к анализу факторов, обуславливающих наблюдаемую динамику выбросов CO₂, вызванных экономической деятельностью. Количество выбросов CO₂ определяется технологией использования энергии для производства

¹ Данное тождество было названо в честь японского ученого Йоичи Кайя, предложившего его в начале 1990-х гг. (Yamaji et al., 1991).

ВВП и технологией производства данной энергии. Другими словами, чем больше энергии требуется для производства ВВП и чем более грязные в смысле выбросов диоксида углерода источники топлива используются для производства этой энергии, тем больше выбросов в атмосферу осуществляется в данной экономике. Также уровень загрязнений зависит от уровня экономической активности: чем выше ВВП данной страны, тем больше уровень выбросов в атмосферу при равных значениях энергоемкости и индекса карбонизации. Эта связь может быть формализована в виде тождества Кайя, которое представляет выбросы CO₂ как произведение следующих факторов: количества населения, ВВП на душу населения, энергоемкости ВВП и индекса карбонизации производства энергии:

$$CO_2 = POP \frac{GDP}{POP} \frac{TPES}{GDP} \frac{CO_2}{TPES}, \quad (1)$$

где CO₂ — выбросы CO₂; POP — количество населения; GDP — валовый внутренний продукт; TPES — предложение первичной энергии.

Перепишем тождество Кайя в виде:

$$\frac{CO_2}{POP} = \frac{GDP}{POP} \frac{TPES}{GDP} \frac{CO_2}{TPES}, \quad (2)$$

т. е. представим подушевые выбросы CO₂ в виде произведения трех факторов: ВВП на душу населения, энергоемкости ВВП и индекса карбонизации производства энергии.

Заметим, что карбоинтенсивность ВВП представима в виде произведения двух факторов — последних сомножителей тождества (2):

$$\frac{CO_2}{GDP} = \frac{TPES}{GDP} \frac{CO_2}{TPES}. \quad (3)$$

Таким образом, анализ факторов подушевых выбросов CO₂ включает анализ факторов карбоинтенсивности ВВП.

Применим к сомножителям, стоящим в правой части тождества (2), методологию Филлипса—Сула, т. е. проверим гипотезы конвергенции и клубной конвергенции факторов, обуславливающих подушевые выбросы CO₂ в рассматриваемой нами выборке. Это позволит нам определить, чем вызваны различия в конвергенции CO₂ в выделенных на предыдущем этапе анализа клубах: различиями в уровне подушевого ВВП, в технологии потребления энергии (энергоемкость ВВП), или технологии производства энергии (индекс карбонизации), и выделить группы стран, демонстрирующих сходную динамику факторов загрязнений.

Для определения количественного вклада каждого из факторов в динамику выбросов CO₂ проведем декомпозиционный анализ тождества Кайя. Будем использовать метод среднелогарифмического индекса Дивизиа (в англоязычной литературе получивший название Logarithmic Mean Divisia Index — LMDI) в аддитивной форме.

Тестирование гипотез конвергенции и клубной конвергенции: методология Филлипса—Сула

Опишем кратко основные эмпирические шаги данной методологии.

Пусть нас интересует конвергенция переменной X_{it} . Выделим в ней общий для всей панели тренд μ_t и специфический для каждой страны фактор δ_i и представим факторную модель в виде:

$$X_{it} = \delta_{it}\mu_t, \quad (4)$$

где δ_{it} включает ошибку ε_{it} и фактор δ_i и представляет собой относительное расстояние между общим трендом μ_t и X_{it} .

Параметр δ_{it} моделируется в (Phillips, Sul, 2007) в полупараметрической форме как

$$\delta_{it} = \delta_i + \sigma_i \xi_{it} L(t)^{-1} t^{-\alpha}, \quad (5)$$

где σ_i — специфический параметр масштабирования; $\xi_{it} \sim iid(0,1)$ по i и слабо зависит от t , а $L(t)$ — это медленно меняющаяся функция (например, $\log(t+1)$), для которой $L(t) \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$; α — скорость конвергенции. Эта формулировка гарантирует, что δ_{it} сходится к δ_i при всех $\alpha \geq 0$. Таким образом, нулевая гипотеза конвергенции записывается как

$$H_0: \delta_i = \delta \text{ и } \alpha \geq 0 \text{ против альтернативы } H_A: \delta_i \neq \delta \text{ или } \alpha < 0.$$

То есть мы тестируем, будет ли расстояние между общим трендом в панели стран μ_t и X_{it} для каждой страны вести себя одинаково с течением времени.

Рассчитаем относительный параметр перехода h_{it} как

$$h_{it} = \frac{X_{it}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{it}} = \frac{\delta_{it}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_{it}}. \quad (6)$$

Данный параметр определяет δ_{it} по отношению к среднему значению по панели в момент времени t . Если страны, входящие в данную панель, демонстрируют конвергенцию (т. е. δ_{it} сходится к δ), относительный параметр перехода стремится к единице, а дисперсия h_{it} (обозначим ее H_t) сходится к нулю, т. е.

$$H_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2 \rightarrow 0 \text{ при } t \rightarrow \infty. \quad (7)$$

В работе Филлипса и Сула (Phillips, Sul, 2007) было показано, что при условии конвергенции H_t имеет предельную форму:

$$H_t \sim \frac{A}{L(t)^{2t^{2\alpha}}} \text{ при } t \rightarrow \infty \text{ для } A > 0, \quad (8)$$

и предложили для тестирования гипотезы конвергенции в панели стран оценить следующее регрессионное уравнение (оценка данного уравнения требует предварительного расчета относительного параметра перехода h_{it} и его дисперсии H_t):

$$\log\left(\frac{H_t}{H_1}\right) - 2 \log L(t) = a + b \log t + u_t. \quad (9)$$

Оценка коэффициента при $\hat{b} = 2\hat{\alpha}$, где $\hat{\alpha}$ — оценка скорости конвергенции. Для тестирования нулевой гипотезы $\alpha \geq 0$ применяется односторонний тест, например, на 5% уровне значимости нулевая гипотеза о конвергенции отвергается, если $t_{\hat{b}} < -1,65$. Стандартные ошибки оцениваются в форме, устойчивой к наличию автокорреляции и гетероскедастичности (в данной работе используется метод, предложенный в (Andrews, 1991)). Авторы теста предлагают оценивать уравнение не по полной выборке, а удалить из нее первую треть наблюдений (при $T < 50$) для увеличения мощности теста.

Если нулевая гипотеза конвергенции отвергается в полной панели стран, то тестируется гипотеза существования клубов — групп стран, сходящихся к собственным равновесным состояниям. Данная процедура выделения клубов включает следующие шаги:

- упорядочим страны в порядке убывания значений интересующей нас переменной в последний момент времени;
- составим группы G_k из первых k единиц ($k = 2, \dots, N$) в упорядоченной выборке и *logt*-тест для каждой такой группы. Назовем *ядром клуба* ту группу, которая имеет максимальную t -статистику для коэффициента b при условии $t_k > -1,65$. Если условие $t_k > -1,65$ не выполняется для первых двух единиц выборки, удалим из выборки первую единицу и выполним этот шаг для всех единиц, начиная со второй. Если для всех пар единиц в выборке не выполняется условие $t_k > -1,65$, можно сделать заключение, что в данной панели нет клубов, все единицы панели демонстрируют дивергенцию;
- к выделенному на предыдущем шаге ядру клуба будем присоединять по одной единице выборки, проводить *logt*-тест и вычислять t -статистику t_k . Данная единица является кандидатом в члены клуба, если вычисленная t -статистика больше выбранного критического значения c . Авторы методологии предлагают на данном шаге выбирать критическое значение c равное нулю. Отобранная таким образом группа вновь тестируется *logt*-тестом как клуб в целом; если для этой группы $t_k > -1,65$, эта группа образует конвергенционный клуб. В противном случае следует увеличить критическое значение c для отбора членов клуба, создать новую группу и проверить условие $t_k > -1,65$ для этой группы. Если это условие не выполняется при любом c , то можно сделать вывод, что конвергенционный клуб состоит только из ядра группы, сформированной на предыдущем шаге;
- все единицы выборки, которые не включены в клуб на предыдущем шаге, тестируются *logt*-тестом. Если для них $t_k > -1,65$, то можно заключить, что они образуют единый клуб и процедура заканчивается. Если нет, то повторяются предыдущие шаги процедуры.

Декомпозиционный анализ индексов: методология среднелогарифмического индекса Дивизиа

Применение индексов Дивизиа в статистике для анализа факторов тех или иных экономических величин имеет долгую историю. В применении к исследованиям в области энергетики и окружающей среды данный метод был предложен в (Ang et al., 1998). Он является наиболее часто используемым методом в работах, применяющих декомпозиционный анализ при изучении загрязнений окружающей среды диоксидом углерода в отдельных странах или регионах мира (Xu, Ang, 2013). Для России данная методология использовалась при изучении экономии энергии за счет снижения энергоёмкости (Башмаков, Мышак, 2012).

Воспользуемся аддитивной декомпозицией, т. е. представим изменение количества выбросов CO₂ на душу населения $\Delta \frac{CO_2}{POP}$ за некоторый период времени как сумму вкладов в это изменение трех эффектов: ВВП на душу населения (эффект дохода) ΔC_{GDP} , энергоёмкости ВВП ΔC_{energy} и карбоноинтенсивности произведенной энергии (индекса карбонизации) $\Delta C_{carbon\ intensity}$:

$$\Delta \frac{CO_2}{POP} = \left(\frac{CO_2}{POP} \right)_t - \left(\frac{CO_2}{POP} \right)_{t-1} = \Delta C_{GDP} + \Delta C_{energy} + \Delta C_{carbon\ intensity}, \quad (10)$$

где вклад каждого фактора в промежуток времени от $t - 1$ до t изменяется постоянным темпом, при этом вклад за рассматриваемый промежуток времени определяется как среднее логарифмическое значение:

$$\begin{aligned} \Delta C_{GDP} &= \frac{(\text{CO}_2 / \text{POP})_t - (\text{CO}_2 / \text{POP})_{t-1}}{\ln(\text{CO}_2 / \text{POP})_t - \ln(\text{CO}_2 / \text{POP})_{t-1}} \cdot \ln \left(\frac{\text{GDP}_t / \text{POP}_t}{\text{GDP}_{t-1} / \text{POP}_{t-1}} \right); \\ \Delta C_{energy} &= \frac{(\text{CO}_2 / \text{POP})_t - (\text{CO}_2 / \text{POP})_{t-1}}{\ln(\text{CO}_2 / \text{POP})_t - \ln(\text{CO}_2 / \text{POP})_{t-1}} \cdot \ln \left(\frac{\text{TPES}_t / \text{GDP}_t}{\text{TPES}_{t-1} / \text{GDP}_{t-1}} \right); \\ \Delta C_{carbon\ intensity} &= \frac{(\text{CO}_2 / \text{POP})_t - (\text{CO}_2 / \text{POP})_{t-1}}{\ln(\text{CO}_2 / \text{POP})_t - \ln(\text{CO}_2 / \text{POP})_{t-1}} \cdot \ln \left(\frac{\text{CO}_{2,t} / \text{TPES}_t}{\text{CO}_{2,t-1} / \text{TPES}_{t-1}} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

Эффект каждого фактора представляет собой гипотетическое изменение выбросов CO_2 , которое произошло бы в результате изменения данного фактора при условии неизменности всех остальных факторов.

Данные

В качестве источника данных в исследовании используется публикация Международного энергетического агентства «Выбросы CO_2 от сжигания топлива 2013». В работе используются следующие данные для 15 стран, ранее входивших в состав СССР, за 1990—2011 гг.:

- C — выбросы CO_2 от сжигания топлива, секторальный подход (млн т CO_2);
- POP — количество населения, проживающего в стране (млн человек);
- G — валовый внутренний продукт (млрд долл. по обменному курсу, в ценах 2005 г.);
- E — общее предложение первичной энергии (млн тонн нефтяного эквивалента). Этот показатель равен сумме местного производства первичной энергии, экспорта за вычетом импорта и количества энергии, находящегося в процессе международных перевозок, и изменения запасов первичной энергии и представляет собой количество энергии, потребленной экономикой в текущем году.

Страны бывшего СССР существенно различаются как по уровню выбросов CO_2 и обуславливающих эти выбросы факторов, так и по темпам роста данных показателей за рассматриваемый период (табл. 2).

Хотя в абсолютном выражении самое большое количество выбросов CO_2 производит наиболее крупная экономика среди рассматриваемых стран — России, самое высокое значение выбросов CO_2 , приходящихся на душу населения, наблюдается в Эстонии. Это связано с тем, что практически все свои энергетические потребности Эстония удовлетворяет за счет добычи и использования горючих сланцев, добываемых на расположенном на территории данной страны месторождении. Этот вид топлива является одним из самых грязных в смысле загрязнения окружающей среды, что и отражается в самом высоком по выборке значении индекса карбонизации у Эстонии. Надо заметить, что и другие страны выборки, обладающие значительными запасами энергетических природных ресурсов: Россия, Казахстан и Туркмения, — также демонстрируют значения выбросов CO_2 на душу населения существенно выше, чем остальные страны бывшего СССР (при этом Казахстан и Туркмения практически не снизили уровень выбросов с 1990 г.). Исключением из данной тенденции является Азербайджан, основу экономического благополучия которого составляет добыча нефти. Выбросы CO_2 на душу населения в данной стране сопоставимы с экономиками, которые вынуждены экспортировать ископаемые источники топлива. В рассматриваемых странах отмечается значительное разнообразие как в уровнях факторов выбросов CO_2 — экономической активности, энергоёмкости ВВП и индекса карбонизации, достигнутых к 2011 г., так и темпах роста данных показателей

Таблица 2

**Значения выбросов CO₂, ВВП на душу населения, энергоёмкости ВВП
и индекса карбонизации в странах бывшего СССР в 2011 г.
и темпы роста этих показателей за период 1990—2011 гг.**

Страна	Выбросы CO ₂		Выбросы CO ₂ на душу населения		ВВП на душу населения		Энергоёмкость ВВП		Индекс карбонизации	
	2011, млн т	темп роста, 2011/1990	2011, т	темп роста, 2011/1990	2011 тыс. долл.	темп роста, 2011/1990	2011 (тнэ / 1000 долл.)	темп роста, 2011/1990	2011 (т CO ₂ /тн)	темп роста, 2011/1990
Армения	4,66	0,23	1,50	0,26	1,99	1,74	0,44	0,23	1,72	1,26
Азербайджан	26,79	0,49	2,92	0,38	3,12	1,87	0,44	0,23	2,13	0,87
Беларусь	66,04	0,53	6,97	0,57	4,77	2,05	0,65	0,34	2,24	0,91
Эстония	19,30	0,53	14,40	0,63	11,32	1,77	0,37	0,38	3,44	1,16
Грузия	6,26	0,19	1,39	0,20	1,96	0,79	0,40	0,39	1,77	1,05
Казахстан	234,18	0,99	14,14	0,98	5,02	1,63	0,94	0,64	3,00	0,93
Киргизия	6,67	0,30	1,21	0,24	0,59	0,84	0,96	0,39	2,15	1,08
Латвия	7,58	0,41	3,41	0,49	7,37	1,36	0,27	0,49	1,73	0,88
Литва	13,22	0,40	4,13	0,46	9,04	1,35	0,25	0,39	1,81	1,16
Молдова	7,89	0,26	2,22	0,27	1,05	0,65	0,89	0,54	2,37	0,95
Россия	1653,23	0,76	11,65	0,79	6,67	1,17	0,77	0,74	2,26	0,93
Таджикистан	2,99	0,27	0,43	0,21	0,49	0,69	0,70	0,49	1,25	1,22
Туркмения	61,55	1,38	12,06	0,99	2,98	1,36	1,62	0,74	2,49	1,01
Украина	285,36	0,41	6,24	0,47	2,08	0,79	1,33	0,72	2,26	0,99
Узбекистан	110,22	0,92	3,76	0,64	0,79	1,45	2,05	0,50	2,31	0,99

Источник: МЭА «Выбросы CO₂ от сжигания топлива 2013»

с 1990 по 2011 г. Так, например, энергоёмкость экономики Узбекистана является наибольшей в данной группе стран при том, что она существенно (на 50%) понизилась за рассматриваемый период, однако низкий уровень ВВП на душу населения в этой стране приводит к тому, что ее подушевые выбросы CO₂ невелики. Тогда как Беларусь демонстрирует низкое значение энергоёмкости ВВП в 2011 г., однако сочетание с довольно высоким уровнем экономической активности приводит к тому, что уровень выбросов CO₂ на душу населения в этой стране довольно высок.

Результаты исследования

Анализ конвергенции. Результаты анализа конвергенции приведены в табл. 3. Наличие конвергенции в полной выборке стран уверенно отвергается для всех анализируемых показателей: выбросов CO₂ на душу населения, карбоноинтенсивности ВВП, энергоёмкости ВВП и индекса карбонизации. Однако подтверждается существование конвергенционных клубов для каждого из этих показателей.

Каждый столбец таблицы содержит результаты *logt*-теста для проверки гипотезы конвергенции показателя, стоящего в заголовке столбца, в полной панели исследуемых стран и результат деления стран на клубы с результатом *logt*-теста для каждого клуба. Напомним, что согласно методологии Филлипса—Сула, ги-

Таблица 3

Результаты анализа конвергенции

Выбросы на душу населения CO_2/P	ВВП на душу населения GDP/P	Карбоинтенсивность ВВП $CO_2/ВВП$	Энергоемкость ВВП $TPES/GDP$	Индекс карбонизации $CO_2/TPES$
Все страны \hat{b} t -stat -1,118 -29,027	Все страны \hat{b} t -stat -0,444 -4,715	Все страны \hat{b} t -stat -0,242 -2,738	Все страны \hat{b} t -stat -0,250 -2,120	Все страны \hat{b} t -stat -0,331 -4,352
Клуб 1 Эстония, Казахстан, Туркмения \hat{b} t -stat 0,173 0,326	Клуб 1 Азербайджан, Беларусь, Эстония, Литва \hat{b} t -stat 0,180 0,930	Клуб 1 Казахстан, Киргизия, Молдова, Туркменистан, Украина, Узбекистан \hat{b} t -stat 0,719 3,054	Клуб 1 Казахстан, Киргизия, Молдова, Россия, Туркмения, Украина, Узбекистан \hat{b} t -stat 0,517 2,507	Клуб 1 Эстония, Грузия, Казахстан \hat{b} t -stat 0,117 0,620
Клуб 2 Беларусь, Украина \hat{b} t -stat -3,071 -1,297	Клуб 2 Казахстан, Латвия, Россия \hat{b} t -stat 0,110 0,326	Клуб 2 Армения, Азербайджан, Беларусь, Эстония, Грузия, Латвия, Литва, Россия, Таджикистан \hat{b} t -stat 0,201 1,663	Клуб 2 Армения, Азербайджан, Беларусь, Эстония, Грузия, Латвия, Литва, Таджикистан \hat{b} t -stat 0,247 0,850	Клуб 2 Армения, Азербайджан, Беларусь, Киргизия, Латвия, Литва, Молдова, Россия, Таджикистан, Туркмения, Украина, Узбекистан \hat{b} t -stat -0,072 -0,729
Клуб 3 Армения, Грузия, Латвия, Литва, Молдова, Узбекистан \hat{b} t -stat 0,054 0,826	Клуб 3 Армения, Грузия, Украина \hat{b} t -stat 2,937 3,205			
	Клуб 4 Молдова, Узбекистан \hat{b} t -stat 0,053 0,120			
Дивергенция Азербайджан, Киргизия, Россия, Таджикистан		Дивергенция Киргизия, Таджикистан, Туркмения		

потеза конвергенции отвергается, если тестовая статистика $t_{\hat{b}} < -1,65$. Для удобства чтения таблицы поясним, что более «успешные» в экологическом смысле страны, т. е. страны, которые более эффективным образом используют энергию (столбец «Энергоемкость ВВП») и менее загрязняют окружающую среду (столбцы «Выбросы CO_2 на душу населения», «Карбоинтенсивность ВВП» и «Индекс карбонизации»), относятся к клубам с большим порядковым номером (например, значение клубного равновесия индекса карбонизации, к которому испытывают конвергенцию члены второго клуба, ниже значения клубного равновесия первого клуба). В случае ВВП на душу населения более экономически развитые страны принадлежат к клубу с меньшим порядковым номером —

в первый клуб входят страны, демонстрирующие конвергенцию к наиболее высокому уровню подушевого ВВП.

Выделяются три клуба для выбросов CO₂ на душу населения (четыре страны из выборки не сходятся ни к одному из обнаруженных клубных равновесий, т. е. демонстрируют конвергенцию), четыре клуба для подушевого ВВП (три страны демонстрируют дивергенцию), по два клуба для карбоинтенсивности ВВП, энергоёмкости ВВП и индекса карбонизации. Дополнительно было произведено разбиение по клубам согласно показателю $\ln(GDP/POP)$. В табл. 3 для наглядности данные результаты не приводятся. В результате этого дополнительного разбиения найдено, что Туркмения присоединяется ко второму клубу (тестовая t -статистика для клуба равна 0,571), а Таджикистан и Туркмения — к четвертому клубу (тестовая t -статистика для клуба равна -1,502), состав остальных двух клубов остался неизменным.

Принадлежность к клубу по карбоинтенсивности ВВП в основном определяется энергоёмкостью ВВП — составы клубов по этим двум показателям совпадают за единственным исключением: Россия, входящая во второй, более успешный, клуб по индексу карбонизации, принадлежит к первому клубу по энергоёмкости ВВП.

Проанализируем совместное разбиение по клубам по трем факторам: ВВП на душу населения, энергоёмкость ВВП и индекс карбонизации. Можно выделить четыре группы стран:

1) страны, которые стремятся к высокому уровню ВВП на душу населения (входят в первый или второй клуб), низкому уровню энергоёмкости ВВП (входят во второй клуб) и низкому уровню индекса карбонизации (входят во второй клуб), — Азербайджан, Беларусь, Литва, Латвия;

2) страны, которые стремятся к высокому уровню ВВП на душу населения (входят в первый или второй клуб), высокому уровню энергоёмкости ВВП (входят в первый клуб), и (или) высокому уровню индекса карбонизации (входят в первый клуб) — Казахстан, Россия, Эстония, Туркмения (последняя страна входит во второй клуб в результате разбиения по клубам на основе $\ln(GDP/POP)$);

3) страны, которые стремятся к низкому уровню ВВП на душу населения (входят в третий или четвертый клуб), высокому уровню энергоёмкости ВВП (входят в первый клуб) и (или) высокому уровню индекса карбонизации (входят в первый клуб), — Грузия, Украина, Молдова, Узбекистан, Киргизия (последняя страна входит в четвертый клуб в результате разбиения по клубам на основе $\ln(GDP/POP)$);

4) страны, которые стремятся к низкому уровню ВВП на душу населения (входят в третий или четвертый клуб), высокому уровню энергоёмкости ВВП (входят в первый клуб) и (или) высокому уровню индекса карбонизации (входят в первый клуб), — Армения, Таджикистан (последняя страна входит в четвертый клуб в результате разбиения по клубам на основе $\ln(GDP/POP)$).

Страны первой группы можно признать успешными в плане проведения экологической политики. Эти страны входят в третий (Азербайджан, Литва, Латвия) или второй (Беларусь) клуб по подушевым выбросам CO₂. При этом они стремятся к низкому равновесному значению энергоёмкости ВВП и индекса карбонизации при достаточно высоких темпах экономического роста, и в случае дальнейшего экономического роста выбросы CO₂ в этих странах не будут увеличиваться значительно. Тогда как страны второй группы, входящие в первый клуб с наивысшим равновесным значением CO₂ на душу населения, должны являться объектом проведения экологической политики, так как экономический рост в совокупности с высокими равновесными значениями энергоёмкости ВВП и индекса карбонизации будет сопровождаться значительным увеличением

выбросов CO_2 в этой группе стран. При этом наиболее проблемной страной является, пожалуй, Казахстан, входящий в первый клуб и по индексу карбонизации, и по энергоёмкости ВВП.

Страны третьей группы в настоящее время входят в третий клуб по подушевым выбросам CO_2 . Однако из-за высоких равновесных значений индекса карбонизации энергоёмкости ВВП в случае экономического роста выбросы CO_2 в этих странах также будут увеличиваться значительно.

Декомпозиционный анализ факторов CO_2 . Результаты аддитивной декомпозиции выбросов CO_2 приведены в табл. 4. Изменение выбросов CO_2 на душу населения за период 1990—2011 гг. представлено как сумма эффектов изменения ВВП на душу населения (эффект дохода), энергоинтенсивности и индекса карбонизации (см. формулы 10—11). Столбцы, маркированные буквой «А», содержат абсолютные значения изменения выбросов CO_2 на душу населения и абсолютный вклад каждого эффекта — гипотетического изменения выбросов CO_2 на душу населения при изменении каждого фактора в предположении неизменности всех остальных факторов. Столбцы, маркированные буквой «В», содержат прирост выбросов CO_2 на душу населения в рассматриваемый период и вклад каждого эффекта в это изменение в процентном отношении (например, вклад эффекта ВВП на душу населения в процентном отношении рассчитан по формуле $100 \cdot \Delta GDP_{1990-2011} / \text{CO}_{21990-2011}$). Отрицательное значение эффекта каждого фактора означает, что изменение данного фактора приводило к уменьшению выбросов CO_2 , положительное значение — что изменение данного фактора привело к увеличению выбросов CO_2 .

Проанализируем результаты декомпозиционного анализа для четырех групп стран, выделенных в предыдущем разделе. Страны группы 1 (Азербайджан, Бе-

Таблица 4

Результаты декомпозиции выбросов CO_2 на душу населения, 1990—2011 гг.

Страна, группа	Выбросы на душу населения, $\Delta \frac{\text{CO}_2}{\text{POP}}$		Эффект дохода $\Delta \frac{GDP}{\text{POP}}$		Эффект энергоинтенсивности $\Delta \frac{TPES}{GDP}$		Эффект индекса карбонизации $\Delta \frac{\text{CO}_2}{TPES}$	
	А	В	А	В	А	В	А	В
Армения 4	-4,27	-74%	1,76	30%	-4,64	-80%	-1,38	-0,24
Азербайджан 1	-4,76	-62%	3,08	40%	-7,21	-94%	-0,64	-0,08
Беларусь 1	-5,24	-43%	6,71	55%	-10,08	-83%	-1,87	-0,15
Эстония 2	-8,33	-37%	10,46	46%	-17,77	-78%	-1,02	-0,04
Грузия 3	-5,53	-80%	-0,83	-12%	-3,26	-47%	-1,44	-0,21
Казахстан 2	-0,32	-2%	7,00	48%	-6,31	-44%	-1,01	-0,07
Киргизия 3	-3,90	-76%	-0,47	-9%	-5,3	-49%	-0,90	-0,18
Латвия 1	-3,58	-51%	1,54	22%	-3,56	-51%	-1,57	-0,22
Литва 1	-4,83	-54%	1,87	21%	-5,90	-66%	-0,80	-0,09
Молдова 3	-5,95	-73%	-1,97	-24%	-2,82	-35%	-1,15	-0,14
Россия 2	-3,04	-21%	2,10	14%	-3,95	-27%	-1,20	-0,08
Таджикистан 4	-1,63	-79%	-0,38	-19%	-0,73	-36%	-0,52	-0,25
Туркмения 1	-0,07	-1%	3,72	31%	-3,56	-29%	-0,23	-0,02
Украина 3	-7,01	-53%	-2,20	-17%	-3,04	-23%	-1,77	-0,13
Узбекистан 3	-2,09	-36%	1,75	30%	-3,31	-57%	-0,53	-0,09

ларусь, Латвия и Литва) довольно значительно снизили выбросы на душу населения, при этом эффект дохода у них был значительным и положительным, эффект энергоемкости — значительным (особенно у Беларуси и Азербайджана) и отрицательным; также отрицательным был и эффект индекса карбонизации (но небольшим — у Азербайджана и Литвы).

Страны второй группы добились меньшего снижения подушевых выбросов CO₂, чем другие страны выборки. При этом снижение у Казахстана и Туркмении было близко к нулю. Эффект снижения энергоемкости был невелик у России и Туркмении. Эффект индекса карбонизации у этих стран также был отрицательным, но близким к нулю.

Страны третьей группы демонстрировали существенное снижение выбросов CO₂, при этом эффект дохода у них был отрицательным (за исключением Узбекистана), эффект энергоемкости — также отрицательным, меньше, чем у стран группы 1, но выше, чем у стран группы 2. Грузия и Украина также существенно снизили индекс карбонизации.

Наконец, страны четвертой группы также существенно снизили свои подушевые выбросы CO₂, в Армении эффект дохода был положительным, а в Таджикистане — отрицательным. Армения существенно снизила энергоемкость, обе эти страны — индекс карбонизации.

Заключение

В результате приведенного исследования гипотезы конвергенции подушевых выбросов CO₂, карбоноинтенсивности ВВП, энергоемкости ВВП и индекса карбонизации потребленной энергии в выборке стран бывшего СССР за период с 1990 по 2011 г. не подтвердились. При этом были подтверждены гипотезы клубной конвергенции этих показателей в рассматриваемых странах и выделены клубы — группы стран, стремящиеся к различным клубным равновесиям. Распределение по клубам по карбоноинтенсивности ВВП определяется в данных странах в основном энергоемкостью ВВП, роль индекса карбонизации вторична. Это отличает рассматриваемые нами постсоветские страны от выборки стран ОЭСР, где равновесный уровень карбоноинтенсивности ВВП определялся, напротив, различиями в индексе карбонизации (Samarego et al., 2013).

Основываясь на распределении по клубам согласно равновесному уровню факторов CO₂, а также на членстве в клубах по подушевому ВВП, были выделены четыре группы стран, демонстрирующие сходную совокупную динамику этих показателей: группа стран с высоким равновесным уровнем ВВП на душу населения и низким равновесным значением энергоемкости ВВП и индекса карбонизации (Азербайджан, Беларусь, Латвия и Литва), страны с высоким равновесным уровнем ВВП на душу населения и высоким равновесным значением энергоемкости ВВП и (или) индекса карбонизации (Казахстан, Россия, Туркмения и Эстония), страны с низким равновесным уровнем ВВП на душу населения и высоким равновесным значением энергоемкости ВВП и индекса карбонизации (Грузия, Украина, Молдова, Узбекистан, Киргизия) и страны с низким равновесным значением ВВП на душу населения, низким равновесным значением энергоемкости ВВП и индекса карбонизации (Армения и Таджикистан). Это деление может быть полезно при проведении экологической политики, поскольку мы можем делать предположения о будущей динамике выбросов CO₂ на душу населения при экономическом росте в данных группах стран.

Декомпозиционный анализ факторов подушевых выбросов CO₂ показал, что эффект снижения энергоэффективности доминировал над эффектом снижения индекса карбонизации во всех странах выборки. Эффект снижения индекса

карбонинтенсивности в странах, обладающих природными ресурсами: Азербайджане, Эстонии, Казахстане, России, Туркменистане, Узбекистане, — был намного ниже, чем в странах, вынужденных покупать энергию на открытом рынке. Это обстоятельство свидетельствует в пользу гипотезы карбонового проклятья. Результаты декомпозиционного анализа для каждой конкретной страны могут использоваться при проведении экологической политики для анализа потенциала снижения выбросов CO₂ за счет того или иного фактора.

Источники

Башмаков И. А., Мышак А. Д. Российская система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии. М., 2012.

Подкорытова О. А., Раскина Ю. В. Конвергенция энергоемкости ВВП в странах бывшего СССР // Финансы и бизнес. 2014. № 1. С. 31—44.

Статистический обзор мировой энергетики 2014 компании BP. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Akbostanci E., Tunç G. Э., Türüt-Aşık S. CO₂ Emissions of Turkish Manufacturing Industry: A Decomposition Analysis // Applied Energy. 2011. Vol. 88. N 6. P. 2273—2278.

Aldy J. E. Per Capita Carbon Dioxide Emissions: Convergence or Divergence? // Environmental and Resource Economics. 2006. Vol. 33. N 4. P. 533—555.

Andrews D. W. K. Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix Estimation // Econometrica: Journal of the Econometric Society. 1991. P. 817—858.

Ang B. W., Zhang F. Q., Choi K. H. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition // Energy. 1998. Vol. 23. N 6. P. 489—495.

Ang B. W. Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Method? // Energy policy. 2004. Vol. 32. N 9. P. 1131—1139.

Brizga J., Feng K., Hubacek K. Drivers of Greenhouse Gas Emissions in the Baltic States: A Structural Decomposition Analysis // Ecological Economics. 2014. Vol. 98. P. 22—28.

Camarero M. et al. Eco-efficiency and Convergence in OECD Countries // Environmental and Resource Economics. 2013. Vol. 55. N 1. P. 87—106.

Camarero M., Picazo-Tadeo A. J., Tamarit C. Are the Determinants of CO₂ Emissions Converging Among OECD Countries? // Economics Letters. 2013. Vol. 118. N 1. P. 159—162.

Camarero M., Picazo-Tadeo A. J., Tamarit C. Is the Environmental Performance of Industrialized Countries Converging? A 'SURE' Approach to Testing for Convergence // Ecological economics. 2008. Vol. 66. N 4. P. 653—661.

CO₂ Emissions from Fuel Combustion, IEA, 2013. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,43840,en.html>

Ezcurra R. Distribution Dynamics of Energy Intensities: a Cross-country Analysis // Energy Policy. 2007. Vol. 35. N 10. P. 5254—5259.

Friedrichs J., Inderwildi O. R. The Carbon Curse: Are Fuel Rich Countries Doomed to High CO₂ Intensities? // Energy Policy. 2013. Vol. 62. P. 1356—1365.

Hatzigeorgiou E., Polatidis H., Haralambopoulos D. Energy CO₂ Emissions for 1990—2020: A Decomposition Analysis for EU-25 and Greece // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2010. Vol. 32. N 20. P. 1908—1917.

Jobert T., Karanfil F., Tykhonenko A. Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions in the EU: Legend or Reality? // Energy Economics. 2010. Vol. 32. N 6. P. 1364—1373.

Kaika D., Zervas E. The Environmental Kuznets Curve (EKC) Theory. Part B: Critical Issues // Energy Policy. 2013. Vol. 62. P. 1403—1411.

Kaika D., Zervas E. The Environmental Kuznets Curve (EKC) Theory. Part A: Concept, Causes and the CO₂ Emissions Case // Energy Policy. 2013. Vol. 62. P. 1392—1402.

Kawase R., Matsuoka Y., Fujino J. Decomposition Analysis of CO₂ Emission in Long-term Climate Stabilization Scenarios // Energy Policy. 2006. Vol. 34. N 15. P. 2113—2122.

Liddle B. Revisiting World Energy Intensity Convergence for Regional Differences // Applied Energy. 2010. Vol. 87. N 10. P. 3218—3225.

Lise W. Decomposition of CO₂ Emissions over 1980—2003 in Turkey // Energy Policy. 2006. Vol. 34. N 14. P. 1841—1852.

Liu Z. et al. Features, Trajectories and Driving Forces for Energy-related GHG Emissions from Chinese Mega Cities: The Case of Beijing, Tianjin, Shanghai and Chongqing // Energy. 2012. Vol. 37. N 1. P. 245—254.

- Meng M., Payne J. E., Lee J.* Convergence in Per Capita Energy Use Among OECD Countries // *Energy Economics*. 2013. Vol. 36. P. 536—545.
- Nakicenovic N.* et al. Special Report on Emissions Scenarios. Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000.
- Panopoulou E., Pantelidis T.* Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions // *Environmental and Resource Economics*. 2009. Vol. 44. N 1. P. 47—70.
- Phillips P. C. B., Sul D.* Transition Modeling and Econometric Convergence Tests // *Econometrica*. 2007. Vol. 75. N 6. P. 1771—1855.
- Raupach M. R.* et al. Global and Regional Drivers of Accelerating CO₂ Emissions // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Vol. 104. N 24. P. 10288—10293.
- Richmond A. K., Kaufmann R.* Energy Prices and Turning Points: The Relationship between Income and Energy Use/Carbon Emissions // *The Energy Journal*. 2006. Vol. 27. N 4. P. 157—180.
- Romero-Ávila D.* Convergence in Carbon Dioxide Emissions Among Industrialised Countries Revisited // *Energy Economics*. 2008. Vol. 30. N 5. P. 2265—2282.
- Saikku L., Rautiainen A., Kauppi P. E.* The Sustainability Challenge of Meeting Carbon Dioxide Targets in Europe by 2020 // *Energy Policy*. 2008. Vol. 36. N 2. P. 730—742.
- United Nations Department of Economic. World Economic and Social Survey 2009: Promoting Development, Saving the Planet. United Nations Publications, 2009. Vol. 9.
- Wang C., Chen J., Zou J.* Decomposition of Energy-related CO₂ Emission in China: 1957—2000 // *Energy*. 2005. Vol. 30. N 1. P. 73—83.
- Xu X. Y., Ang B. W.* Index Decomposition Analysis Applied to CO₂ Emission Studies // *Ecological Economics*. 2013. Vol. 93. P. 313—329.
- Yamaji K.* et al. An Integrated System for CO₂/energy/GNP Analysis: Case Studies on Economic Measures for CO₂ Reduction in Japan / Workshop on CO₂ Reduction and Removal: Measures for the Next Century. 1991. Vol. 19.
- Zhang M.* et al. Decomposition of Energy-related CO₂ Emission over 1991—2006 in China // *Ecological Economics*. 2009. Vol. 68. N 7. P. 2122—2128.
- Zhu Z. S.* et al. The Differences of Carbon Intensity Reduction Rate Across 89 Countries in Recent Three Decades // *Applied Energy*. 2014. Vol. 113. P. 808—815.