DOI 10.22394/1726-1139-2023-7-42-52

Макрорегиональный анализ углеродоемкости экономики

Ильясов Р. Х.[1], *Плотников В. А.*[1, 2, *]

[1] Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, Грозный, Российская Федерация; ilyasov_95@mail.ru
[2] Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация; [*] plotnikov_2000@mail.ru

РЕФЕРАТ
Достижение Целей устойчивого развития, сформулированных ООН, является одним из приоритетов современной экономической политики. В то же время, при ее реализации следует учитывать макрорегиональную специфику. Без такого рода учета, из-за возникающих дисбалансов, устойчивость развития обеспечить не удастся. Одной из составляющих устойчивого развития является декарбонизация экономики. **Цель исследования**: макрорегиональный анализ взаимного воздействия объемов потребления энергии, выбросов углекислого газа и тенденций экономического роста. В условиях, когда обеспечение устойчивого экономического роста является важной задачей экономической политики, повышение энергоэффективности оказывается ключевым фактором снижения углеродной эмиссии. **Методы исследования**: анализ динамики, анализ структуры, методы сравнительного анализа и обобщения. В статье изучаются в динамике количественные изменения углеродоемкости ВВП на примере двух стран с крупнейшими экономиками — США и Китая. Анализ показал, что макрорегиональным экономическим системам с высоким уровнем технологического развития удается интенсивнее снижать выбросы углекислого газа, обеспечивая при этом экономический рост.

Ключевые слова: макрорегиональный анализ, экономический рост, углеродоемкость ВВП, декарбонизация экономики

Для цитирования: *Ильясов Р. Х., Плотников В. А.* Макрорегиональный анализ углеродоемкости экономики // Управленческое консультирование. 2023. № 7. С. 42–52.

Macro-Regional Analysis of the Carbon Intensity of the Economy

Ruslan Kh. Ilyasov[1], *Vladimir A. Plotnikov*[1, 2, *]

[1] Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russian Federation; ilyasov_95@mail.ru
[2] Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation; *plotnikov_2000@mail.ru

ABSTRACT
Achieving the Sustainable Development Goals formulated by the UN is one of the priorities of modern economic policy. At the same time, its implementation should take into account the macro-regional specifics. Without this kind of accounting, due to the emerging imbalances, it will not be possible to ensure the sustainability of development. One of the components of sustainable development is the decarbonization of the economy. The purpose of the study: macro-regional analysis of the mutual impact of energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth trends. At a time when ensuring sustainable economic growth is an important task of economic policy, improving energy efficiency turns out to be a key factor in reducing carbon emissions. Research methods: dynamics analysis, structure analysis, methods of comparative analysis and generalization. The article studies the dynamics of changes in the carbon intensity of GDP on the example of two countries with the largest economies — the United States and China. The analysis showed that macro-regions with a high level of technological development manage to reduce carbon dioxide emissions more intensively, while ensuring economic growth.

Keywords: macro-regional analysis, economic growth, carbon intensity of GDP, decarbonization of the economy

For citing: Ilyasov R. H., Plotnikov V. A. Macro-regional analysis of the carbon intensity of the economy // Administrative consulting. 2023. N 7. P. 42–52.

Введение

Забота об экологии и в целом ориентация на Цели устойчивого развития, сформулированные ООН, требует пересмотра подходов к ведению экономической деятельности [2; 7; 10], что нашло отражение в реализации политики перехода к модели зеленой экономики [1; 14]. Одним из направлений реализации указанной модели является принятие мер по снижению углеродоемкости экономики [8; 9]. Подобные меры предпринимаются в различных странах мира, не является исключением и Россия, где распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р утверждена и реализуется «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

Безусловно, принятие такого рода мер требует не только существенных институциональных изменений и трансформации национальной экономической модели, но и дополнительных исследований, учитывающих не только общесистемные тенденции, но и макрорегиональную специфику. В частности, в последние годы предпринимаются попытки углубленного изучения взаимосвязи между выбросами парниковых газов (в частности — углекислого газа) и экономическим ростом. Обзор многочисленных исследований, проводимых на материалах различных стран, регионов и отраслей, приводит, на первый взгляд, к противоречивым выводам.

С одной стороны, утверждается, что экономический рост является основным фактором увеличения выбросов углекислого газа в атмосферу в развивающихся странах. В этой связи усилия по достижению углеродной нейтральности, предпринимаемые властями, воспринимаются как сдерживающий экономическое развитие фактор. Многие страны, прежде всего — развивающиеся, не готовы к сокращению углеродосодержащих выбросов за счет ограничения потребления энергии, необходимой для экономического роста при недостаточном уровне энергоэффективности.

С другой стороны, некоторые исследования выявляют интересный факт, состоящий в том, что для технологически развитых стран характерна слабая корреляция между динамикой выбросов углекислого газа и показателями экономического развития [16]. Это связано с тем, что высокий уровень развития позволяет им внедрять в производство более экологичные технологии, добиваться большей энергоэффективности.

В то же время развитые страны прошли длительный путь экономического и технологического развития (развивающиеся страны находятся только в начале этого пути). Поэтому их накопленная эмиссия значительна. Именно развитые страны воспринимаются ответственными за значительную долю углеродного загрязнения атмосферы на протяжении многих лет их экономического роста [12; 13].

В связи с изложенным анализ воздействия тенденций экономического роста на декарбонизацию актуален, и проводиться этот анализ должен в макрорегиональном разрезе, так как наблюдаются пространственные особенности во взаимодействии процессов углеродной эмиссии и экономического развития. В этой связи в нашем исследовании будет рассмотрена углеродоемкость производства ВВП в развивающихся и развитых экономиках на примере Китая и США.

Материалы и методы

По данным BP [11], в 2021 г. Китай был источником более 30% выбросов углекислого газа в общемировом итоге, а следом за ним шли США, на долю которых

приходилось более 13% углеродной эмиссии. Анализ данных о выбросах в Китае и США обнаруживает два типа зависимостей от тенденций экономического роста (табл. 1). В Китае на фоне экономического роста увеличиваются и объемы эмиссии, но с некоторым замедлением [17]. Динамика эмиссии в США отличается от Китая, демонстрируя незначительное снижение при сохранении устойчивого роста экономики.

Экономический рост большинства стран мира обеспечивается увеличением потребления энергии, а энергетика, в свою очередь, является основным источником углеродной эмиссии. Быстрый рост производства, как известно, наблюдается в Китае, ВВП которого в 2021 г. удалось увеличить по отношению к 2010 г. более чем на 120% (табл. 2). Это привело к увеличению и углеродной эмиссии: прирост выбросов за соответствующий интервал времени составил около 30%.

Некоторым странам, например США, удается поддерживать высокие темпы экономического роста за счет повышения энергоэффективности и увеличения в структуре потребления источников энергии с меньшей эмиссией. Объемы производства ВВП в США также показывали рост, увеличившись в 2021 г. по сравнению с 2010 г. на 50%. При этом объемы выбросов углекислого газа от энергетики в США в 2021 г. относительно 2010 г. снизились на 10,4%.

Анализ корреляции между динамикой производства ВВП и выбросов углекислого газа в Китае и США выявляет интересные макрорегиональные различия между двумя крупнейшими экономиками мира. В Китае объемы выбросов очень тесно коррелируют с объемами производства ВВП: коэффициент корреляции между показателями составил 0,970. Тесную прямую зависимость эмиссии от показателей экономического роста в Китае можно объяснить недостаточной энергоэффективностью производства в развивающихся странах. Также следует учитывать и заметное преобладание в энергетическом балансе стран с развивающейся экономикой невозобновляемых источников энергии.

Построенная модель регрессии (рис. 1) показывает, что в Китае увеличение объемов производства ВВП на 1 долл. приводит в среднем к увеличению выбросов на 0,133 кг CO_2 ежегодно:

Таблица 1

Углеродная эмиссия от энергетики, млн тонн эквивалента углекислого газа

Table 1. Carbon emissions from energy, million tons of carbon dioxide equivalent

Страна	2010	...	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Китай	9294,4	...	10 547,9	10 531,6	10 767,0	11 056,4	11 311,1	11 461,2	12 039,8
США	5815,4	...	5561,8	5435,8	5394,0	5593,6	5489,6	4883,7	5167,9
Мир	35254,3	...	37 516,8	37 727,1	38 194,6	39 104,0	39 152,8	36 963,7	38 976,6

Составлено: Ильясовым Р.Х. по данным British Petroleum [11].

Таблица 2

ВВП в текущих ценах (по паритету покупательной способности; млрд международных долларов)

Table 2. GDP at current prices (by purchasing power parity; billion international dollars)

Страна	2010	...	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Китай	12 283,0	...	18 701,7	19 814,1	21 657,0	23 356,2	24 168,0	27 206,1
США	15 049,0	...	18 695,1	19 479,6	20 527,2	21 372,6	20 893,8	22 996,1
Мир	90 151,3	...	116 168,5	122 351,5	129 709,0	135 641,4	132 936,1	146 607,9

Составлено: Ильясовым Р.Х. по данным МВФ.

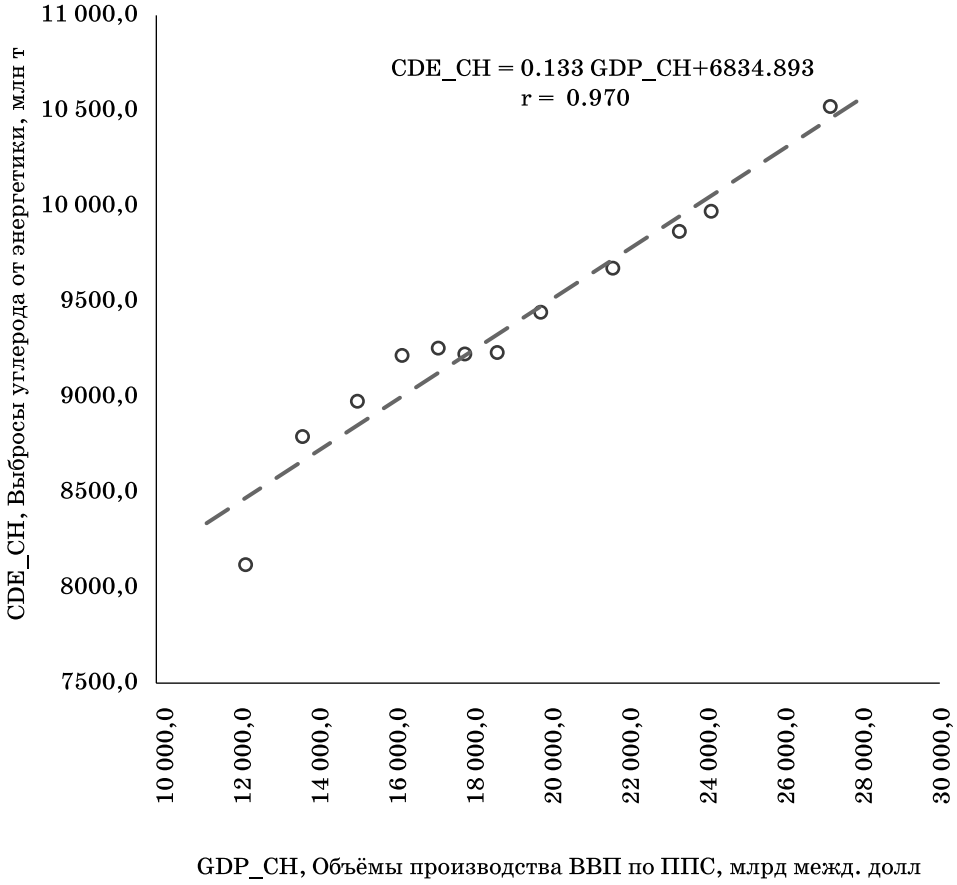

Рис. 1. Взаимосвязь между объемами выбросов углекислого газа энергетическим сектором и производством ВВП (по паритету покупательной способности) в Китае
Fig. 1. Relationship between carbon dioxide emissions from the energy sector and GDP production (at purchasing power parity) in China

$$CDE_CH = 0.133\,GDP_CH + 6834.893, \quad (1)$$

где GDP_CH — объемы производств ВВП в Китае; CDE_CH — объемы выбросов углекислого газа в Китае.

Интересным является тот факт (см. рис. 2), что объемы производства ВВП и выбросов углекислого газа в США коррелируют отрицательно ($r = -0{,}791$). Несмотря на тесную отрицательную корреляцию, не следует интерпретировать взаимосвязь таким образом, что увеличение объемов производства ВВП является фактором снижения эмиссии в США. Корректным следует считать объяснение, что США удается снижать выбросы, обеспечивая при этом экономический рост. Технологическое развитие позволяет США снизить зависимость выбросов углекислого газа от экономического роста повышением энергоэффективности, использованием экологически чистых технологий в производстве и для бытовых нужд.

Параметры линейной регрессии показывают, что в США при увеличении объемов производства ВВП на 1 долл. удается в среднем снижать выбросы на 0,09 кг CO_2 ежегодно:

$$CDE_US = -0.090 * GDP_US + 6749.927, \quad (2)$$

где GDP_US — объемы производства ВВП в США; CDE_US — объемы выбросов углекислого газа в США.

Результаты и обсуждение

Модели регрессии (1) и (2) выявили заметные различия между воздействием объемов производства ВВП на динамику выбросов углекислого газа в различных макрорегионах (расчеты проведены на примере США и Китая). Регрессионные модели, демонстрируя только обобщенные или усредненные внутри исследуемого интервала времени реакции, не показывают последовательные изменения в корреляции процессов. Надо учитывать, что зависимости между процессами не являются статичными, они непрерывно меняются с течением времени.

Важно при этом не только оценить тесноту и направление связи между процессами, но и в динамике наблюдать изменения в параметрах связи [4; 5]. Динамические изменения во взаимосвязи между объемами выбросов углекислого газа и производства ВВП можно увидеть в динамике углеродоемкости ВВП, которая рассчитывается как объем выбросов CO_2, приходящийся на единицу произведенного ВВП. Соответствующие данные приведены на рис. 3.

Наблюдая в динамике абсолютных показателей заметный рост эмиссии в Китае, трудно выявить позитивные изменения, очевидные, например, для США. Особен-

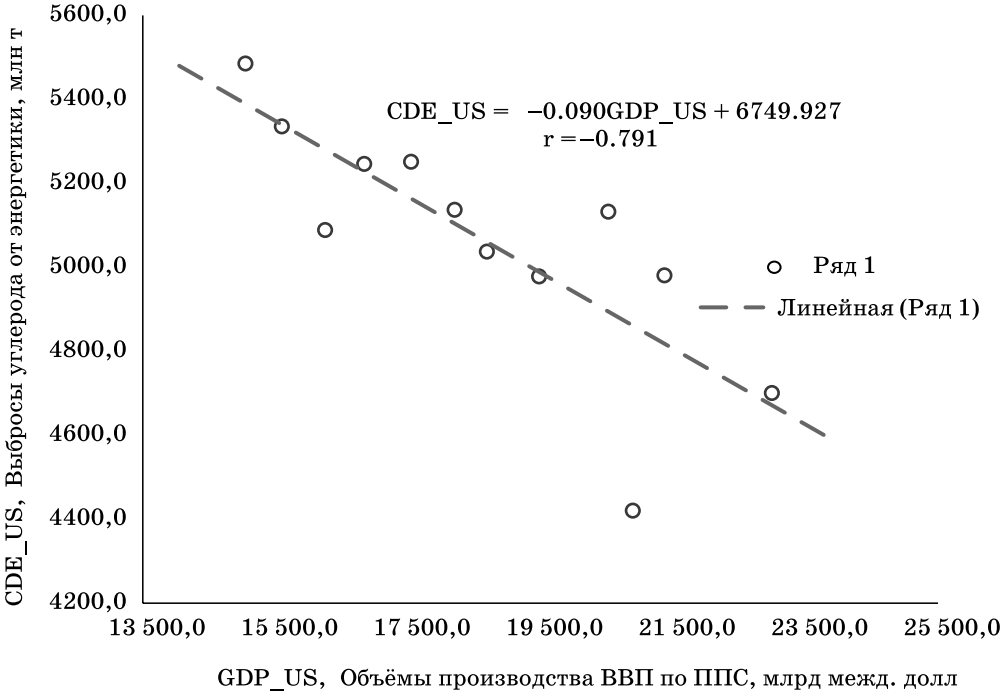

Рис. 2. Взаимосвязь между объемами выбросов углекислого газа энергетическим сектором и производством ВВП в США

Fig. 2. Relationship between carbon dioxide emissions from the energy sector and GDP production in the United States

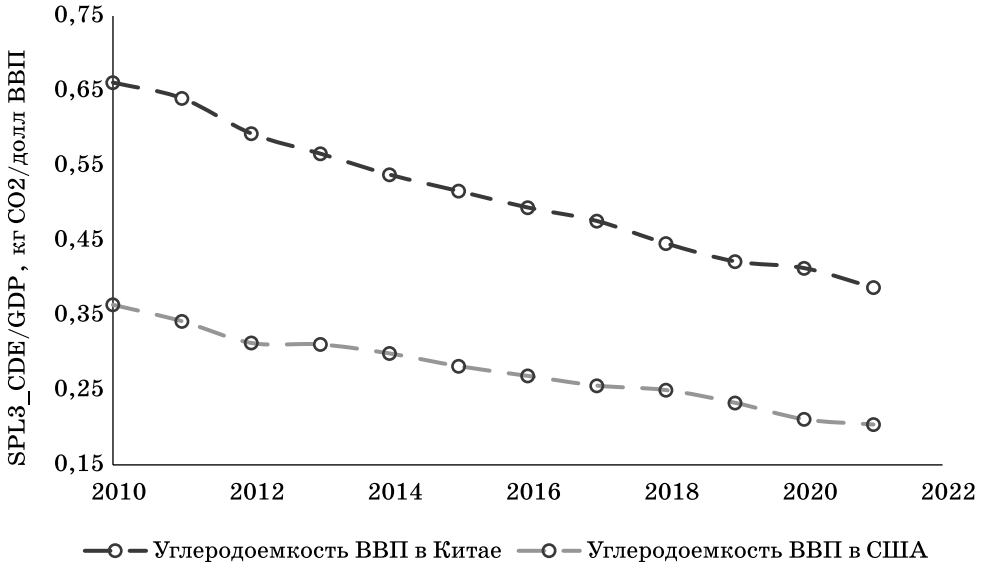

Рис. 3. Динамика углеродоемкости ВВП в США и Китае
Fig. 3. Dynamics of carbon intensity of GDP in the USA and China

ностью динамики производства ВВП в Китае является устойчивость роста, который даже в условиях глобальных экономических кризисов реагировал лишь замедлениями. В то же время продолжается в Китае и рост абсолютных объемов выбросов углекислого газа, но с меньшей по сравнению с динамикой производства ВВП скоростью. На фоне доминирующих тенденций роста изменения, связанные с ослаблением взаимной корреляции между абсолютными объемами эмиссии и производства ВВП, остаются «латентными» [3].

В динамике углеродоемкости обнаруживаются позитивные изменения, демонстрирующие уменьшение объемов выбросов в расчете на каждый доллар ВВП не только в США, но и в Китае. Оставаясь по сравнению с США на более высоком уровне, углеродоемкость производства ВВП в Китае с 2010 г. демонстрирует заметное снижение. Так, в 2010 г. объемы эмиссии от энергетики на каждый доллар произведенного ВВП (по паритету покупательной способности) в Китае составляли 0,661 кг, что превышало углеродоемкость производства ВВП в США в том же году в 1,816 раз.

В течение наблюдаемого периода времени углеродоемкость снижалась как в Китае, так и в США. Так, в 2021 г. относительно 2010 г. углеродемкость производства ВВП в США снизилась на 0,160 кг или на 44%. За аналогичный период времени углеродоемкость производства ВВП в Китае снизилась на 0,274 кг или на 41%. Тем не менее углеродоемкость производства ВВП в Китае и в 2021 г. остается высокой, превышая в 1,897 раз углеродоемкость производства ВВП в США (табл. 3). То есть разрыв между этими странами в углеродоемкости сохраняется примерно одинаковым на всем наблюдаемом интервале времени.

Китай и США, являясь странами с наибольшими объемами производства ВВП в мире, занимают и значительную долю в мировом потреблении первичной энергии — 15,6 в США и 26,5% в Китае от мирового потребления в 2021 г. Интересна при этом структура потребления первичной энергии по видам энергии. Доли «свободной» от выбросов углекислого газа энергии (атомная энергетика, энергия гидроэлектростанций и возобновляемых источников) в США и Китае различаются незначительно — 18,6% и 17,3%.

Таблица 3

Динамика углеродоемкости ВВП в Китае и США

Table 3. Dynamics of carbon intensity of GDP in China and the USA

Страна	2010	...	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Китай	0,661	...	0,516	0,494	0,476	0,446	0,422	0,413	0,387
США	0,364	...	0,282	0,269	0,256	0,250	0,233	0,211	0,204

При этом существенные различия существуют в долях потребления углеводородных энергоресурсов (нефти, природного газа и угля). Экономику Китая отличает существенное преобладание доли угля в структуре потребления первичной энергии — около 50% в 2021 г. В США на долю угля приходится всего лишь 11,4% в структуре потребления первичной энергии (рис. 4).

Сохранение окружающей среды может быть достигнуто снижением углеродоемкости производства ВВП — сокращением в энергетическом балансе и промышленной переработке углеводородных энергоресурсов в пользу возобновляемых источников. В структуре потребления Китая сохраняется большая доля угля, что служит источником значительной по объему углеродной эмиссии. Изменение структуры потребления первичной энергии в пользу более «чистых» с экологической точки зрения источников требует перехода от традиционных к новейшим энергоэффективным и экологически чистым технологиям производства [6].

Повышение энергоэффективности позволит развивающимся странам значительно сократить потребление энергии, достигая при решении проблемы декарбонизации производства снижения стоимости производства и роста производительности. В целом технологическое развитие должно дать синергетический эффект

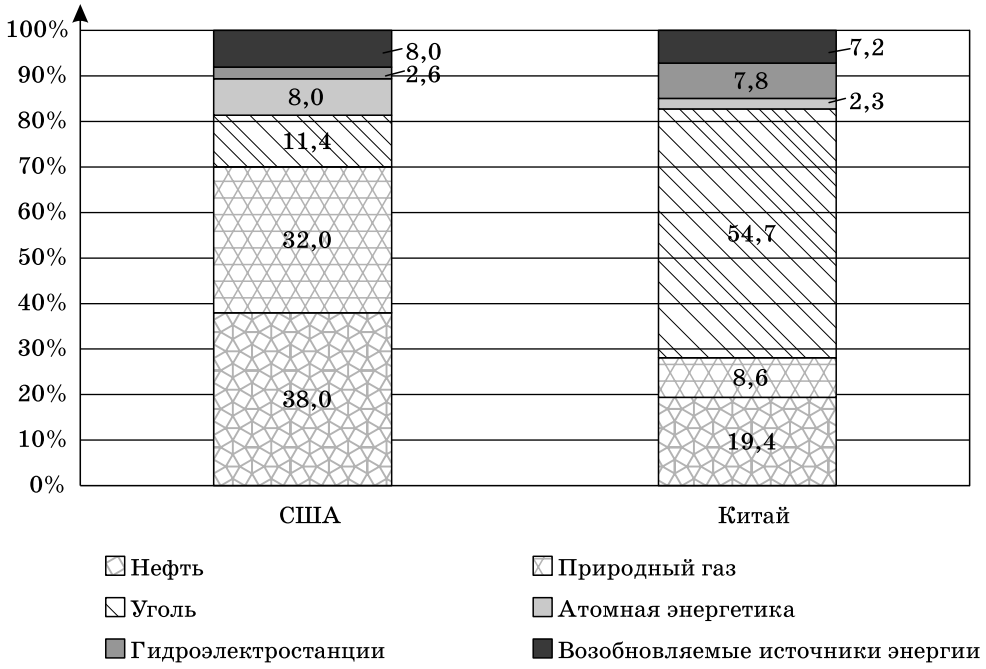

Рис. 4. Структура потребления первичной энергии в США и Китае в 2021 г., %
Fig. 4. Structure of primary energy consumption in the USA and China in 2021, %

в достижении экономических целей развивающимися странами, нивелируя неблагоприятные воздействия экономического роста на окружающую среду, что лежит в русле достижения Целей устойчивого развития ООН [15].

Если рассматривать ситуацию в различных макрорегионах в динамике (рис. 5), то можно отметить, что США и Китаю удалось увеличить долю возобновляемых источников энергии. Абсолютный прирост в 2021 г. относительно 2010 г. превысил 6% в обеих странах. В структуре потребления первичной энергии произошло небольшое увеличение доли нефти (на 0,81 и 1,71% соответственно), а доля природного газа в обеих рассматриваемых странах увеличилась на 5%.

Наиболее заметные изменения произошли в потреблении угля — оно снизилось на 11% в США и на 15% в Китае. Несмотря на заметное уменьшение, доля угля в потреблении первичной энергии в Китае осталась очень высокой — 54,7% в 2021 г. Позитивные, хотя и незначительные, изменения в Китае произошли в доле энергии, генерируемой гидроэлектростанциями. В США доля энергии, вырабатываемой гидроэлектростанциями, а также атомными электростанциями осталась без заметных изменений. Доля энергии, генерируемой атомными электростанциями в Китае, увеличилась на 1,65%.

Заключение

Анализ показывает, что в различных макрорегионах мира ситуация с достижением Целей устойчивого развития складывается неодинаковая. В частности, Китай и США являются странами с наибольшими объемами производства ВВП, оставаясь при

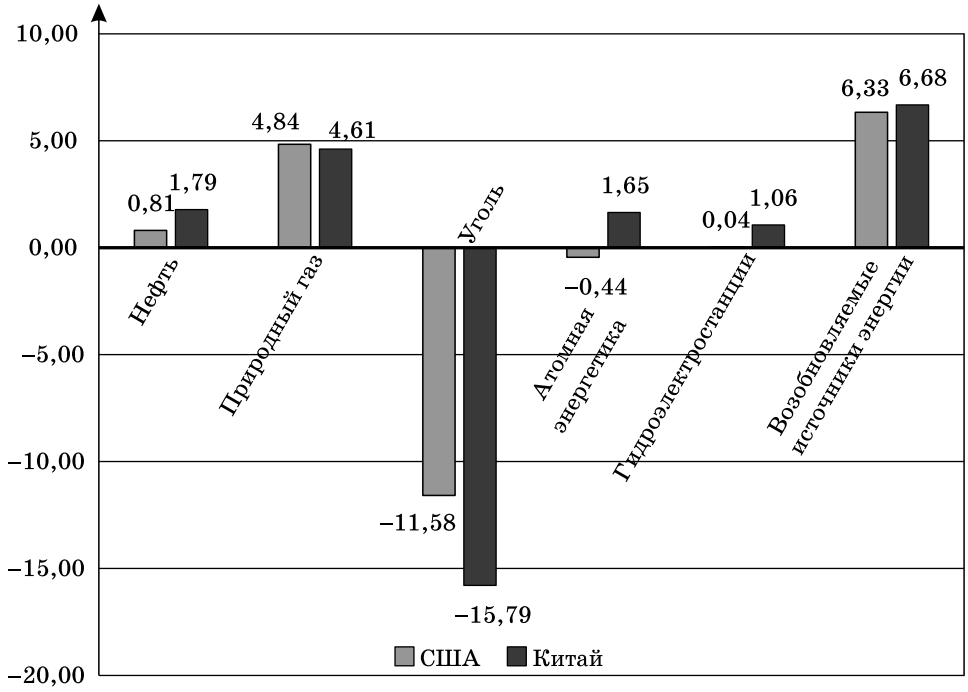

Рис. 5. Изменения в структуре потребления первичной энергии в США и Китае в 2021 г. относительно 2010 г., %

Fig. 5. Changes in the structure of primary energy consumption in the USA and China in 2021 relative to 2010, %

этом и крупнейшими в мире источниками выбросов углекислого газа. В настоящее время обе страны прилагают усилия по декарбонизации экономического роста — это можно увидеть в положительной динамике углеродоемкости ВВП двух стран. При этом США как стране с более развитыми технологиями удалось достичь заметно больших результатов в достижении углеродной нейтральности.

Трудности Китая в достижении сопоставимых с США результатов по снижению углеродоемкости производства ВВП связаны со структурой потребления энергии. В настоящее время, несмотря на положительные тенденции, в энергетике преобладает использование угля, на сжигание которого приходится около половины выбросов в стране. Преобладание в запасах первичных энергоресурсов Китая каменного угля будет, по-видимому, и дальше влиять на структуру потребления первичной энергии. Китаю необходимы существенные усилия по интеграции возобновляемых источников энергии, реформе рынка энергоресурсов для декарбонизации экономического роста.

Расчеты показали сохранение положительной связи между динамикой выбросов углекислого газа и экономическим ростом в странах с развивающейся экономикой. В США — стране с развитой экономикой — удалось снизить углеродоемкость производства ВВП до такого уровня, который позволяет обеспечивать экономический рост и при снижении эмиссии.

Остается дискуссионным вопрос, связанный с применением многосторонних соглашений по климату, требующих от стран сокращения только их территориальных выбросов углекислого газа. Достигая позитивных результатов по снижению выбросов, физически происходящих в пределах национальных границ, эти соглашения упускают из виду взаимосвязи между выбросами углекислого газа и уровнем экономического развития. Таким образом, рассмотренные нами вопросы требуют дальнейшего исследования.

Литература

1. *Боркова Е. А.* Методические аспекты политики стимулирования инноваций для устойчивого развития и зеленого роста // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. № 3 (123). С. 65–70.
2. *Вертакова Ю. В., Евченко А. В., Щербаков Д. Б.* Зеленая экономика и устойчивое развитие: на пути к «экологизации» государственной социально-экономической политики в условиях институциональной трансформации // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Экономика. Социология. Менеджмент. 2020. Т. 10. № 5. С. 24–36.
3. *Ильясов Р. Х.* «Латентные» корреляции потоков в экономике: сплайн-анализ // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 1 (127). С. 35–41.
4. *Ильясов Р. Х.* Сплайн-анализ «тонкой» структуры взаимозависимости экспортных цен на природный газ и нефть // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2008. № 6 (68). С. 348–352.
5. *Ильясов Р. Х.* Сплайн-анализ корреляции потоков // Экономический анализ: теория и практика. 2020. Т. 19. № 1 (496). С. 173–187.
6. *Ильясов Р. Х., Плотников В. А.* Тенденции выбросов углерода в регионах мира: сплайн-анализ // Социально-экономические и финансовые аспекты развития Российской Федерации и ее регионов в современных условиях. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию создания экономического факультета. Грозный, 2022. С. 277–283.
7. *Коростышевская Е. М., Плотников В. А., Пролубников А. В., Рукинов М. В.* Социальная компонента государственной региональной политики и ее роль в обеспечении устойчивого развития и экономической безопасности // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2018. № 6 (114). С. 120–126.
8. *Крутилина А. Д., Проворная И. В.* Зависимость углеродоемкости экономик стран мира от экологических факторов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 2. № 4. С. 74–79.

9. *Пакина А. А., Тульская Н. И.* Оценка углеродоемкости экономики Татарстана в целях управления природопользованием // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2021. № 2. С. 110–115.
10. *Халил М. Р. А.* Приоритеты государственной политики регулирования устойчивого развития и стимулирования зеленой экономики // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. № 1 (121). С. 176–182.
11. *BP* Statistical Review of World Energy 2022 [Электронный ресурс]. URL: https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html (дата обращения: 13.05.2023).
12. *Furuoka F.* The CO2 emissions–development nexus revisited // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 51. P. 1256–1275.
13. *Omri A., Kahouli B.* Causal relationships between energy consumption, foreign direct investment and economic growth: fresh evidence from dynamic simultaneous-equations models // Energy Policy. 2014. Vol. 67. P. 913–922.
14. *Vertakova* Yu., *Plotnikov V.* Problems of sustainable development worldwide and public policies for green economy // Economic Annals-XXI. 2017. Vol. 166. № 7-8. P. 4–10.
15. *Waheed R., Chang D., Sarwar S., Chen W.* Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 172. P. 4231–4238.
16. *Waheed R., Sarwar S., Wei C.* The survey of economic growth, energy consumption and carbon emission // Energy Reports. 2019. Vol. 5. P. 1103–1115.
17. *Zhao X., Zhang X., Li N., Shao S., Geng Y.* Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: a sectoral factor decomposition analysis // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. P. 3500–3516.

Об авторах:

Ильясов Руслан Хизраилевич, Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, Грозный, Российская Федерация, заведующий кафедрой учета, анализа и аудита в цифровой экономике, доктор экономических наук, доцент; Ilyasov_95@mail.ru

Плотников Владимир Александрович, Санкт-Петербургский государственный экономический университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация), профессор кафедры общей экономической теории и истории экономической мысли; Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова (Грозный, Российская Федерация), профессор кафедры учета, анализа и аудита в цифровой экономике, доктор экономических наук, профессор; plotnikov_2000@mail.ru

References

1. Borkova E. A. Methodological aspects of the policy of stimulating innovation for sustainable development and green growth // Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics [Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta]. 2020. N 3 (123). P. 65–70 (in Rus).
2. Vertakova Yu. V., Evchenko A. V., Shcherbakov D. B. Green economy and sustainable development: on the way to “ecologization” of state socio-economic policy in conditions of institutional transformation // Proceedings Southwestern State University. Series: Economics. Sociology. Management [Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment]. 2020. Vol. 10. N 5. P. 24–36 (in Rus).
3. Ilyasov R. H. “Latent” correlations of flows in economics: spline analysis // Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics [Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta]. 2021. N 1 (127). P. 35–41 (in Rus).
4. Ilyasov R. H. Spline analysis of the “thin” structure of the interdependence of export prices for natural gas and oil // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Economic sciences [Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki]. 2008. N 6 (68). P. 348–352 (in Rus).
5. Ilyasov R. H. Spline analysis of flow correlation // Economic analysis: theory and practice [Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika]. 2020. Vol. 19. N 1 (496). P. 173–187 (in Rus).
6. Ilyasov R. H., Plotnikov V. A. Trends in carbon emissions in the regions of the world: spline analysis // Socio-economic and financial aspects of the development of the Russian Federation

and its regions in modern conditions. Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of the establishment of the Faculty of Economics. Grozny, 2022. P. 277–283 (in Rus).
7. Korostyshevskaya E. M., Plotnikov V. A., Prolubnikov A. V., Rukinov M. V. Social component of state regional policy and its role in ensuring sustainable development and economic security // Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics [Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta]. 2018. N 6 (114). P. 120–126 (in Rus).
8. Krutilina A. D., Nimble I. V. Dependence of the carbon intensity of the economies of the world on environmental factors // Interexpo Geo-Siberia [Interekspo Geo-Sibir']. 2022. Vol. 2. N 4. P. 74–79 (in Rus).
9. Pakina A. A., Tulskaya N. I. Assessment of the carbon intensity of the economy of Tatarstan for the purpose of environmental management // Bulletin of the Moscow University. Series 5: Geography [Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5: Geografiya]. 2021. N 2. P. 110–115 (in Rus).
10. Khalil M. R. A. Priorities of the state policy of regulation of sustainable development and stimulation of the green economy // Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics [Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta]. 2020. N 1 (121). P. 176–182 (in Rus).
11. BP Statistical Review of World Energy 2022 [Electronic source]. URL: https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html (accessed: 13.05.2023).
12. Furuoka F. The CO2 emissions–development nexus revisited // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 51. P. 1256–1275.
13. Omri A., Kahouli B. Causal relationships between energy consumption, foreign direct investment and economic growth: fresh evidence from dynamic simultaneous-equations models // Energy Policy. 2014. Vol. 67. P. 913–922.
14. Vertakova Yu., Plotnikov V. Problems of sustainable development worldwide and public policies for green economy // Economic Annals-XXI. 2017. Vol. 166. N 7–8. P. 4–10.
15. Waheed R., Chang D., Sarwar S., Chen W. Forest, agriculture, renewable energy, and CO2 emission // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 172. P. 4231–4238.
16. Waheed R., Sarwar S., Wei C. The survey of economic growth, energy consumption and carbon emission // Energy Reports. 2019. Vol. 5. P. 1103–1115.
17. Zhao X., Zhang X., Li N., Shao S., Geng Y. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: a sectoral factor decomposition analysis // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. P. 3500–3516.

About the authors:

Ruslan Kh. Ilyasov, Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russian Federation, Head of the Department of Accounting, Analysis and Audit in Digital Economy, Doctor of Economics, Associate Professor; Ilyasov_95@mail.ru

Vladimir A. Plotnikov, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation, Professor of the Department of General Economic Theory and History of Economic Thought; A. A. Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russian Federation, Professor of the Department of Accounting, Analysis and Audit in the Digital Economy, Doctor of Economics, Professor; plotnikov_2000@mail.ru