

Добыча нефти и углеродные выбросы: сплайн-анализ взаимосвязей

Ильясов Р. Х.¹, Плотников В. А.², *

¹Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, г. Грозный, Чеченская Республика, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация; *plotnikov_2000@mail.ru

РЕФЕРАТ

Очевидно, что динамика выбросов углекислого газа зависит от объемов и структуры потребления первичных энергоресурсов в экономике. Потребление энергии в мире демонстрирует тенденцию роста, временно прерывающуюся в периоды экономических кризисов. Наиболее заметное в современной истории снижение потребления энергии произошло в 2020 г., что было обусловлено спадом деловой активности в мире из-за пандемии COVID-19. Это вызвало снижение выбросов углерода (более чем на 6% по сравнению с 2019 г.). В структуре источников первичной энергии наибольшее сокращение пришлось на потребление нефти. В работе исследуются воздействие экономических кризисов на эволюцию взаимной связи между динамикой добычи нефти и выбросов углекислого газа в мире. Для выявления корреляций на локальных временных участках предложено интерполировать динамику процессов кубическими сплайнами. Применение этого инструментария позволяет избежать ограничений классической эконометрики к длине временных рядов. Дифференцируемость построенных сплайн-моделей позволила перейти к выявлению и анализу латентных корреляций в колебаниях мгновенной скорости роста объемов производства нефти и выбросов углерода.

Ключевые слова: производство нефти, углеродные выбросы, пандемия COVID-19, корреляция экономических переменных, экономико-математическое моделирование, сплайн-анализ

Для цитирования: Ильясов Р. Х., Плотников В. А. Добыча нефти и углеродные выбросы: сплайн-анализ взаимосвязей // Управленческое консультирование. 2022. № 5. С. 51–61.

Oil Production and Carbon Emissions: Spline Analysis of Relationships

Ruslan H. Ilyasov¹, Vladimir A. Plotnikov², *

¹Kadyrov Chechen State University, Grozny, Chechen Republic, Russian Federation

²Saint-Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation; *plotnikov_2000@mail.ru

ABSTRACT

Obviously, the dynamics of carbon dioxide emissions depends on the volume and structure of consumption of primary energy resources in the economy. The world's energy consumption shows a growth trend temporarily interrupted during times of economic crisis. The most noticeable decrease in energy consumption in modern history occurred in 2020, which was due to a decline in business activity in the world due to the COVID-19 pandemic. This caused a decrease in carbon emissions (by more than 6% compared to 2019). In the structure of primary energy sources, the largest reduction was in oil consumption. The paper examines the impact of economic crises on the evolution of the mutual link between the dynamics of oil production and carbon dioxide emissions in the world. To detect correlations in local time regions, it is proposed to interpolate process dynamics with cubic splines. Using this toolkit avoids the limitations of classical econometrics on the length of time series. The differentiability of the built spline models allowed us to move on to identifying and analyzing latent correlations in fluctuations in the instantaneous growth rate of oil production volumes and carbon emissions.

Keywords: oil production, carbon emissions, COVID-19 pandemic, correlation of economic variables, economic and mathematical modelling, spline analysis

Введение

Проблематика устойчивого развития и перехода к модели зеленой экономики в последние годы привлекает все большее внимание исследователей и практиков [4; 7; 9; 10; 14]. Одной из часто обсуждаемых тем является переход к углерод-нейтральной экономике, что требует кардинальных изменений в промышленной политике [2; 11], в частности — в энергетике [1; 8]. Подписание Парижского соглашения по климату 2015 г. заметно активизировало политику многих стран, в частности — европейских, по сокращению выбросов углекислого газа. Достижение этой цели представляется возможным за счет расширения практики использования возобновляемых источников энергии, уменьшением доли ископаемого топлива в общем потреблении первичной энергии [3].

Принято считать, что декарбонизация экономического роста необходима для предотвращения негативных изменений климата, однако это создает ограничения для развития и даже самого существования многих традиционных отраслей экономики. В частности, под угрозой оказывается мировая нефтяная промышленность. Возникает противоречие: с одной стороны, перспектива углеродной нейтральности способна привести в будущем, согласно оценкам многих специалистов, к улучшению качества социально-экономического развития, но, с другой стороны, в текущем периоде это требует административно регулируемой структурной перестройки экономики, которая неизбежно приведет к дисбалансам, следствием которых явится спад производства, появление структурной и технологической безработицы и т. д., т. е. произойдет снижение качества социально-экономического развития.

Наличие указанных противоречий вынуждает нас сдержанно относиться к перспективам энергетического (и шире — зеленого) перехода. Противоречивость поведения отмечается и у рыночных авторов. Многие производственные компании приветствуют стремление к углеродной нейтральности. В то же время, этот курс поддерживается не всеми: заметны противоречия в поведении компаний — провозглашая стремление к развитию экологически чистых производств, компании недостаточно активно отказывались от использования традиционного ископаемого топлива. Сохраняющийся спрос на ископаемое топливо приводит к неустойчивой корреляции между динамикой добычи энергоресурсов и тенденциями декарбонизации экономики [19].

Между тем фактическая декарбонизация, пусть и в мягкой форме, уже началась. Пандемия COVID-19, охватившая мир в 2020 г. и до конца не преодоленная до настоящего времени, привела к снижению хозяйственной активности, заметному сокращению потребления ископаемых энергоресурсов, в основном, вследствие нарушения цепочек поставок. Почти синхронное во всех регионах мира снижение потребления углеводородных энергоресурсов привело к заметной декарбонизации [12]. Реакция глобальной энергетической системы на кризис 2020 г. была беспрецедентной, показав самое большое со времен Второй мировой войны снижение выбросов углекислого газа: произошел спад более чем на 6% по сравнению с 2019 г.

Одним из факторов декарбонизации в 2020 г. стало заметное снижение объемов добычи нефти в мире — на 6,9% по сравнению с 2019 г. Стремление к декарбонизации экономики на фоне сохраняющегося спроса на ископаемое топливо создает неустойчивость во взаимной связи между динамикой производства нефти и объемами выбросов углекислого газа. Становится актуальной задача исследования структурно-вариативной связи между динамикой объемов производства нефти и тенден-

циями декарбонизации в мире. А то, что такая связь прослеживается, подтверждают графические данные, приведенные на рис. 1.

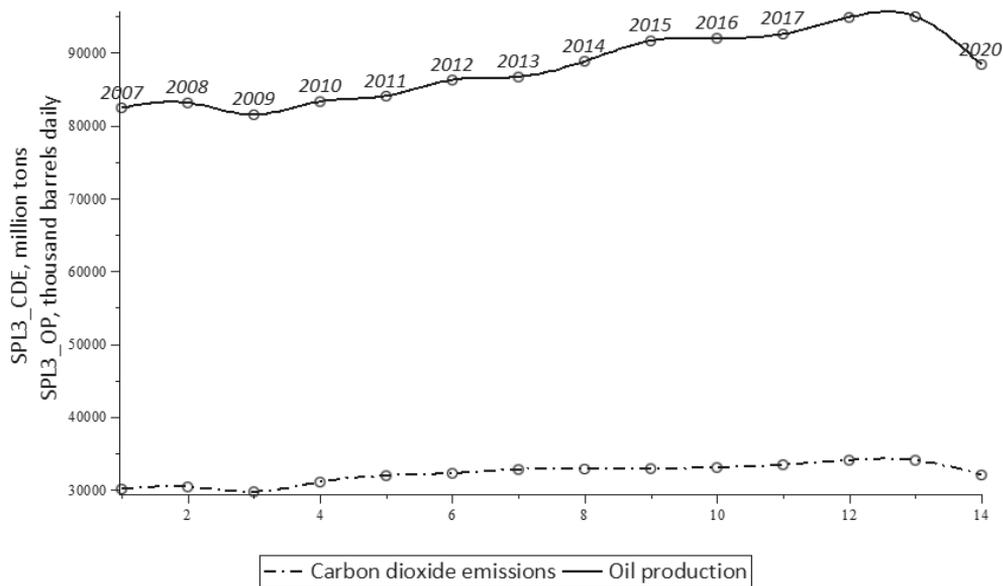


Рис. 1. Динамика объемов добычи нефти и выбросов углерода в мире (составил Р.Х. Ильясов)

Fig. 1. Dynamics of oil production and carbon emissions in the world (compiled by R. Ilyasov)

Материалы и методы

Статистические данные, рассматриваемые на длинном временном интервале, говорят о росте объемов добычи нефти в мире — в среднем на 1,5% ежегодно с 2007 по 2020 г. Аналогичные темпы роста демонстрирует в последние годы и динамика выбросов углекислого газа в мире. Это говорит о наличии взаимной связи между колебаниями объемов выброса углерода и добычи нефти — коэффициент корреляции между этими показателями равен 0,94 (рис. 2).

Несмотря на наличие тесной корреляционной связи, интересно изучить эволюцию связи между процессами, оценить, как тенденции декарбонизации развиваются на фоне колебаний спроса на нефть. Заметим, что методы классической эконометрики, определяющие тесноту связи лишь в среднем внутри исследуемого интервала времени, и моделирование регрессии сглаживанием не позволяют оценивать последовательные во времени изменения параметров связи. Например, было бы интересно выявить, как коррелируют тенденции выбросов углерода с объемами добычи нефти в условиях кризисов и на фоне устойчивого экономического роста?

В этой связи необходимо обратиться к методам моделирования и анализа взаимосвязей между процессами, учитывающими возможные изменения параметров связи. Известны недостатки обработки и аналитического описания эмпирической динамики методами классической эконометрики, в частности чувствительность к количеству данных, искажения данных сглаживанием и усреднениями, потеря временной последовательности данных в моделях регрессии и др.

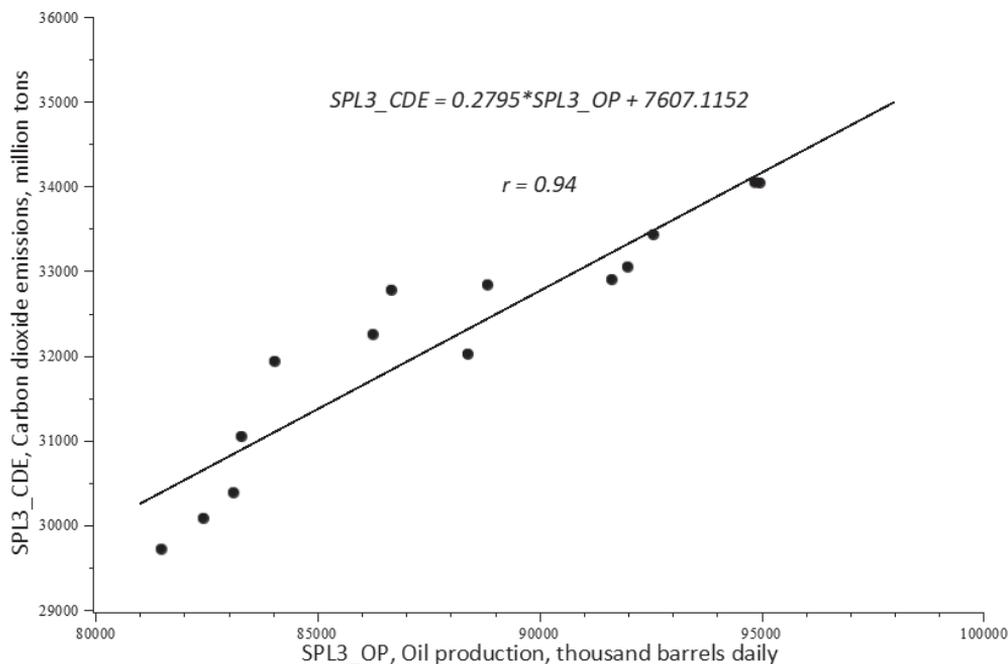


Рис. 2. Линейная регрессия между динамикой объемов добычи нефти и выбросов углерода в мире (разработал Р.Х. Ильясов)
 Fig. 2. Linear regression between the dynamics of oil production and carbon emissions in the world (developed by R. Ilyasov)

Для выявления локальных откликов процесса и наблюдения последовательных изменений в параметрах связи следует отказаться от сглаживающих процедур. Аналитическое моделирование для выявления корреляций внутри коротких временных интервалов должно сохранить в точности динамику реальных колебаний. Анализ последовательных изменений в параметрах связи может улучшить понимание особенностей воздействия добычи и потребления нефти на выбросы углекислого газа в мире.

Динамика выбросов углерода и добычи нефти демонстрирует нелинейные, структурно-вариативные траектории изменений, особенно на фоне экономических кризисов. Анализ динамических изменений связи делает важным точное моделирование их динамики. Решением становится интерполирование сплайнами — кусочными функциями, сохраняющими динамику процесса в узловых точках с абсолютной точностью [6; 13; 15; 22].

Сплайн-функции используются для последовательного соединения точек данных друг с другом с помощью кривой, либо с целью визуализации динамики, либо для интерполяции. Исторически сплайны первоначально использовались при проектировании кораблей, корпуса которых изогнуты сложным образом в двух измерениях. Сплайн-моделирование имеет важное преимущество перед аппроксимацией полиномами высокой степени, которые имеют тенденцию сильно колебаться между «узлами» моделируемого процесса. Сплайны, обладая невысокой степенью моделирующего полинома, показывают адекватное экономической динамике поведение и в промежутках между узлами.

Для того чтобы избежать проявления феномена Рунге, обнаруживающегося при моделировании динамики полиномиальной функцией высокой степени, становится эффективной «кусочная» интерполяция между парами последовательных «узловых» точек. Наиболее простой процедурой является интерполирование кусочно-линейной функцией, но у этого подхода есть некоторые недостатки. Основным недостатком моделирования линейным сплайном является отсутствие гладкости — первая производная терпит разрыв в «узловых» точках. Преобразование «решетчатой» функции дискретной экономической динамики в гладкую непрерывную экономическую функцию в англоязычной литературе называется spline-smoothing [20; 23].

Чтобы гарантировать определенную степень точности, а также избежать колебаний между «узловыми» точками, используют интерполяцию кубическими сплайнами. Кубический сплайн имеет непрерывные производные первого и второго порядка, проходит через все «узловые» точки эмпирического процесса с нулевой погрешностью. Сплайн-функции хорошо соединяют в единую непрерывную модель интервалы с различающимися тенденциями развития. Адаптивность и непрерывность сплайнов оказываются эффективными для анализа локальных колебаний в динамике реальных данных [5; 17]. Это позволяет, в частности, выявить латентные реакции в колебаниях скорости роста углеродных выбросов на изменения в потреблении нефти в мире [18].

Кубический сплайн моделирует процесс отрезками полинома третьей степени, «сшивая» в «узловых» точках как отрезки самого полинома, так и его двух производных [16; 21]. Благодаря абсолютной точности, сплайн-моделирование становится инструментом изучения динамики со слабой турбулентностью. Последовательно-изменяемая структура сплайна подстраивается «отрезками» модельной функции к колебаниям экономической динамики, в том числе и к динамике процессов с малой волатильностью. Например, построенная интерполированием кубическим сплайном модель *SPL3_CDE* описывает динамику углеродных выбросов в мире с 2007 по 2020 г.:

$$\begin{aligned}
 & 29\,366,858 + 711,842t - 408.742(t-1)^3 & t < 2 \\
 & 31\,410,567 - 514,383t - 1226.225(t-2)^2 + 1073,008(t-2)^3 & t < 3 \\
 & 28957,626 + 252,191t + 1992.800(t-3)^2 - 914,091(t-3)^3 & t < 4 \\
 & 25063,030 + 1495,517t - 749.474(t-4)^2 + 140,756(t-4)^3 & t < 5 \\
 & 29837,707 + 418,839t - 327.205(t-5)^2 + 226,267(t-5)^3 & t < 6 \\
 & 29590,431 + 443,228t + 351.595(t-6)^2 - 271,423(t-6)^3 & t < 7 \\
 \text{SPL3_CDE} = & 30448,160 + 332,149t - 462.675(t-7)^2 + 192,426(t-7)^3 & t < 8 \\
 & 32962,482 - 15,923t + 114.603(t-8)^2 - 36,580(t-8)^3 & t < 9 \\
 & 31965,319 + 103,542t + 4.862(t-9)^2 + 41,096(t-9)^3 & t < 10 \\
 & 30681,164 + 236,554t + 128.149(t-10)^2 + 17,397(t-10)^3 & t < 11 \\
 & 27433,323 + 545,043t + 180.340(t-11)^2 - 108,084(t-11)^3 & t < 12 \\
 & 27068,425 + 581,473t - 143.911(t-12)^2 - 443,862(t-12)^3 & t < 13 \\
 & 47532,957 - 1037,935t - 1475.497(t-13)^2 + 491,832(t-13)^3 & \text{otherwise}
 \end{aligned}$$

Результаты и обсуждение

На фоне преобладающей тенденции роста методы классической эконометрики не обнаруживают локальные изменения в параметрах связи между динамикой выбросов углерода и объемами добычи нефти. Более эффективным должен быть переход от сравнения абсолютных значений исследуемых процессов к анализу корреляций между цепными приростами или мгновенной скоростью роста. Точность в модельном описании эмпирической динамики кубическими сплайнами и наличие непрерывных производных позволяют искать корреляции в колебаниях скорости роста.

Для выделения замедлений или ускорений роста в динамике выбросов углерода и объемов добычи нефти выполним переход от построенных сплайн-моделей к их первым производным. Дифференцированием построенной сплайн-модели получаем модели колебаний скорости роста (рис. 3). Динамика первых производных оказывается более информативной для сравнения мгновенной скорости роста объемов выброса углерода и объемов добычи нефти в любой момент времени t .

Так, впервые кривые мгновенной скорости роста объемов выбросов углерода и добычи нефти проходят в области отрицательных значений в 2008–2009 гг. Наибольшую мгновенную скорость роста объемов выбросов углерода на всем исследуемом интервале времени мы наблюдаем в 2010 г. Относительно 2007 г. в 2010 г. в среднем в мире прирост выбросов углерода составил 3,2%. В дальнейшем кривая мгновенной скорости роста выбросов углерода в мире приближается к нулю, оставаясь при этом в области положительных значений. Вновь кривые скорости роста объемов выброса углерода и добычи нефти синхронно уходят в область отрицательных значений в 2019–2020 гг.

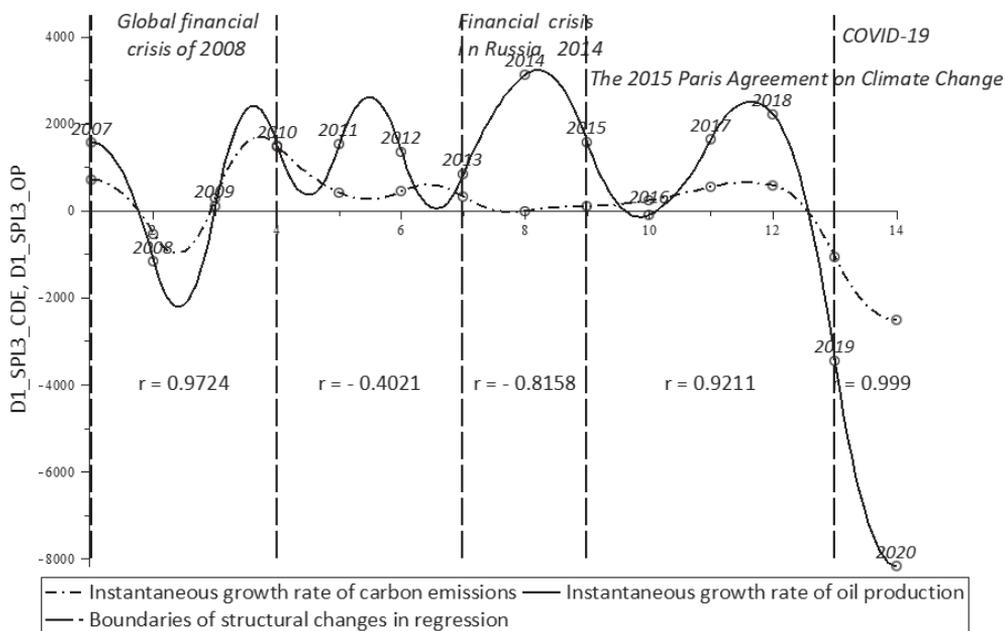


Рис. 3. Сплайн-модели мгновенной скорости роста динамики объемов добычи нефти и выбросов углерода в мире: анализ переключений регрессии (разработал Р.Х. Ильясов)
 Fig. 3. Spline models of the instantaneous growth rate of the dynamics of oil production and carbon emissions in the world: regression-switching analysis (developed by R. Ilyasov)

Обращение к производным заметно повышает эффективность изучения регрессии с переключениями — динамика роста или спада, слабо выявляемая в динамике абсолютных значений, обнаруживается явно по знаку производной. Анализ кривых мгновенной скорости роста позволяет идентифицировать интервалы, внутри которых параметры взаимного воздействия исследуемых процессов изменялись под воздействием кризисов в экономике. Например, обращает на себя внимание синхронизация колебаний скорости роста выбросов углерода и объемов добычи нефти в кризисные 2008–2009 и в 2019–2020 гг. Это позволяет нам сравнивать реакции мгновенной скорости роста выбросов углерода в мире на колебания скорости роста объемов производства нефти в различных экономических условиях — на фоне кризисного спада экономики и в условиях экономического роста.

Глобальный экономический кризис 2008–2009 гг. вызвал снижение потребления энергии в мире впервые с 1982 г. Заметное сокращение потребления нефти и природного газа привело очевидным образом к снижению выбросов углерода в мире, происходившее в последний раз только в 1998 г. На фоне мирового финансового кризиса колебания мгновенной скорости роста объемов выбросов углерода и добычи нефти продемонстрировали синхронность.

Степень взаимного воздействия исследуемых процессов была очень сильной — коэффициент корреляции между колебаниями скорости роста выбросов углерода и объемов добычи нефти в 2007–2010 гг. равен 0,9724. Это говорит об усилении взаимной связи между рассматриваемыми процессами в условиях кризиса. В посткризисном 2010 г. кривые скорости роста углеродных выбросов и добычи нефти, сохраняя синхронность, вернулись в область положительных значений.

С 2010 по 2013 г. в мире наблюдался заметный рост добычи нефти. В то же время, продолжался рост выбросов углекислого газа. При этом колебания мгновенной скорости роста углеродных выбросов не обнаруживали тесную корреляцию с изменениями объемов добычи нефти — коэффициент корреляции между ними составил (–0,4021). Это говорит об ослаблении в условиях устойчивого экономического роста роли динамики объемов добычи нефти как доминирующего фактора колебаний углеродного загрязнения в мире.

Начавшийся в 2014 г. финансовый кризис в России был вызван стремительным снижением цен на нефть. Падение цен на нефть было вызвано, в свою очередь, существенным ростом предложения сланцевой нефти США в 2014 г., обеспечившим среднегодовой прирост добычи нефти в мире на 1 млн баррелей в день. Несмотря на увеличение абсолютных объемов добычи нефти в 2014 г., мгновенная скорость роста выбросов углекислого газа в мире приблизилась к нулю, демонстрируя самые медленные темпы роста с 1998 г.

Асинхронность в колебаниях мгновенной скорости роста выбросов углерода и объемов добычи нефти в 2013–2015 гг. усилилась по сравнению с предыдущим периодом — значение коэффициента корреляции составило (0,8158). Причиной снижения выбросов углерода в мире с 2014 г. послужила изменившаяся в пользу более чистых источников энергии структура топливного баланса ведущих стран — потребителей энергии.

2015 г. характерен началом активной компании по декарбонизации экономики. В 2015 и 2016 гг. скорость роста выбросов углерода продолжала оставаться близкой к нулю. Факторами невысокой скорости роста углеродных выбросов служили замедление роста общемирового ВВП, рост энергоэффективности производства, а также изменение топливного баланса в пользу экологически чистой энергии.

Всемирный экономический кризис, начавшийся в связи с распространением COVID-19, оказал наиболее сильное воздействие на мировой энергетический рынок. В 2020 г. заметно сократилось потребление углеводородных энергоресурсов, что вызвало самое большое с середины прошлого века снижение углеродных выбросов.

От кризиса 2008–2009 гг. ситуация в 2020 г. отличается глобальным и почти одно-временным снижением углеродных выбросов во всех регионах мира.

Кризис 2020 г. отличался от предыдущих тем, что почти синхронно в очень многих странах мира началось сокращение потребления энергии в промышленном производстве и на транспорте. Это привело к большому сокращению выбросов углекислого газа в мире. Наибольший спад в потреблении углеводородных энергоресурсов пришелся на долю нефти — снижение на 9,3% в 2020 г. по сравнению с предыдущим годом. Падение объемов потребления природного газа было менее значительным — около 2%. На этом фоне производство с использованием возобновляемых источников энергии продолжало расти, в частности, производство электричества из солнечной энергии продемонстрировало самый большой рост за всю историю.

В сложившихся условиях усилилась корреляционная взаимосвязь между скоростью снижения выбросов углерода и скоростью падения добычи нефти в мире — коэффициент корреляции между процессами стал равным 0,999. Очевидно, что падение объемов углеродных выбросов в 2020 г. не было связано с повышением энергоэффективности производства. Обнаруженные нами взаимосвязи между динамикой выбросов углерода и распространением COVID-19 нельзя считать решением для обеспечения долгосрочной экологической устойчивости [24].

Опыт 2008–2009 гг. подсказывает, что возобновление экономической активности приведет к росту спроса на энергоресурсы, в том числе и на нефть, что вновь ускорит динамику выбросов углерода. В то же время, экономические кризисы последнего времени приводят к изменению топливного баланса в мире в пользу экологически более чистых источников энергии [25]. Это позволяет предположить, что энергетический переход будет происходить не скачкообразно и не эволюционно (плавно), а в виде серии последовательных «микроскачков», инициируемых кризисами.

Заключение

Выполненный анализ показал, что при поиске взаимосвязей между процессами со слабой волатильностью эффективно использовать сравнение колебаний скорости роста. Взаимные воздействия между замедлениями и ускорениями роста оказываются более информативными для понимания факторов и тенденций развития процессов. Обращение к более «чувствительным» к малым динамическим изменениям производным позволило выявить в изучаемой взаимосвязи переключения регрессии.

Необходимость сохранения малых колебаний в исследуемой динамике потребовала и большей точности к методам модельного описания эмпирической динамики. Взамен методов классической эконометрики, сглаживающих эмпирические данные, было предложено выполнять аналитическое моделирование динамики выбросов углерода и объемов добычи нефти кубическими сплайнами.

Непрерывность и дифференцируемость сплайн-функций позволили выполнить переход от поиска корреляций в динамике абсолютных значений к изучению взаимосвязи между колебаниями мгновенной скорости роста, к анализу «эволюции» связи на фоне глобальных экономических кризисов. По кривым первых производных удалось определить переключения регрессии, изучить поведение процессов в трансформирующихся экономических условиях.

Литература

1. Боркова Е. А. Государственная поддержка зеленых инвестиций (на примере возобновляемых источников энергии) // Управленческое консультирование. 2020. № 3 (135). С. 73–79.
2. Вертакова Ю. В., Плотникова Н. А., Плотников В. А. Промышленная политика России: направленность и инструментарий // Экономическое возрождение России. 2017. № 3 (53). С. 49–56.

3. Жизнин С.З., Тимохов В.М. Влияние энергетики на устойчивое развитие // *Мировая экономика и международные отношения*. 2017. Т. 61. № 11. С. 34–42.
4. *Зеленая экономика и зеленые финансы* / Б.Н. Порфирьев, М.В. Сигова, И.К. Ключников и др. СПб., 2018. 327 с.
5. Ильясов Р.Х. «Латентные» корреляции потоков в экономике: сплайн-анализ // *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*. 2021. № 1 (127). С. 35–41.
6. Ильясов Р.Х. Сплайн-анализ корреляции потоков // *Экономический анализ: теория и практика*. 2020. Т. 19. № 1 (496). С. 173–187.
7. Казанцева А.Н. Вопросы разработки и реализации государственной политики в сфере производства и обращения экологически чистой продукции // *Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии*. 2018. № 2 (36). С. 16–20.
8. Плотников В.А., Бабенков В.И. Экономическая безопасность российской нефтегазовой отрасли в условиях энергетического перехода // *Экономический вектор*. 2021. № 3 (26). С. 55–61.
9. *Теория устойчивого развития экономики и промышленности* / А.А. Алетдинова, А.В. Бабкин, Н.Н. Булатова и др. СПб., 2016. 756 с.
10. Федотова Г.В., Сложенкина М.И. Сценарии глобального прорыва сельского хозяйства России в рамках «зеленой» экономики // *Аграрно-пищевые инновации*. 2020. № 2 (10). С. 20–32.
11. 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.
12. Adelodun B., Kareem K.Y., Kumar P., Kumar V. *at al.* Understanding the impacts of the COVID-19 pandemic on sustainable agri-food system and agroecosystem decarbonization nexus: A review // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 318. P. 128451.
13. Banker R. D., Byzalov D., Fang S., Jin B. Operating asymmetries and non-linear spline correction in discretionary accrual models // *Review of Quantitative Finance and Accounting*. 2020. N 54 (3). P. 803–850.
14. Buletova N.Ye., Gorelova I.V., Golomanchuk A.V., Orlova Ye.R. New interaction paradigm of ecological, social and economic structures of human activity // *Economy of Regions*. 2015. N 2 (42). P. 59–71.
15. Cui Z., Kirkby J.L., Nguyen D. Nonparametric Density Estimation by B-Spline Duality // *Econometric Theory*. 2020. N 36 (2). P. 250–291.
16. Depren S.K., Kartal M.T. Prediction on the volume of non-performing loans in Turkey using multivariate adaptive regression splines approach // *International Journal of Finance and Economics*. 2021. N 26 (4). P. 6395–6405.
17. Edwards J.R., Parry M.E. On the Use of Spline Regression in the Study of Congruence in Organizational Research // *Organizational Research Methods*. 2018. N 21 (1). P. 68–110.
18. Gao G., Meng S. Stochastic claims reserving via a Bayesian spline model with random loss ratio effects // *ASTIN Bulletin*. 2018. N 48 (1). P. 55–88.
19. Green J., Hadden J., Hale T., Mahdavi P. Transition, hedge, or resist? Understanding political and economic behavior toward decarbonization in the oil and gas industry // *Review of International Political Economy*. 2021. DOI: 10.1080/09692290.2021.1946708
20. Gülüm M., Yesilyurt M.K., Bilgin A. The performance assessment of cubic spline interpolation and response surface methodology in the mathematical modeling to optimize biodiesel production from waste cooking oil // *Fuel*. 2019. Vol. 255. P. 115778.
21. Hill R.J., Scholz M. Can Geospatial Data Improve House Price Indexes? A Hedonic Imputation Approach with Splines // *Review of Income and Wealth*. 2018. N 64 (4). P. 737–756.
22. Ilyasov R.H. About the method of analysis of economic correlations by differentiation of spline models // *Modern Applied Science*. 2014. Vol. 8. N 5. P. 197–203.
23. Keller W., Borkowski A. Thin plate spline interpolation // *Journal of Geodesy*. 2019. N 93 (9). P. 1251–1269.
24. Sarfraz M., Mohsin M., Naseem S., Kumar A. Modeling the relationship between carbon emissions and environmental sustainability during COVID-19: a new evidence from asymmetric ARDL cointegration approach // *Environ Dev Sustain*. 2021. N 23. P. 16208–16226.
25. Xu L., Fan M., Yang L., Shao S. Heterogeneous green innovations and carbon emission performance: Evidence at China's city level // *Energy Economics*. 2021. N 99. P. 105269.

Об авторах:

Ильясов Руслан Хизраилевич, заведующий кафедрой учета, анализа и аудита в цифровой экономике Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова (г. Грозный, Чеченская Республика, Российская Федерация), кандидат экономических наук, доцент; ilyasov_95@mail.ru

Плотников Владимир Александрович, профессор кафедры общей экономической теории и истории экономической мысли Санкт-Петербургского государственного экономического университета (Санкт-Петербург, Российская Федерация), доктор экономических наук, профессор; plotnikov_2000@mail.ru

References

1. Borkova E.A. State support for green investments (using renewable energy as an example) // Administrative consulting [Upravlencheskoe konsul'tirovanie]. 2020. N 3 (135). P. 73–79 (in Rus).
2. Vertakova Yu.V., Plotnikova N.A., Plotnikov V.A. Industrial policy of Russia: orientation and tools // Economic revival of Russia [Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii]. 2017. N 3 (53). P. 49–56 (in Rus).
3. Zhiznin S.Z., Timokhov V.M. Impact of energy on sustainable development // World economy and international relations [Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya]. 2017. V. 61. N 11. P. 34–42 (in Rus).
4. Green Economy and Green Finance / Porfiriev B.N., Sigova M.V., Klyuchnikov I.K., etc. St. Petersburg, 2018. 327 p. (in Rus).
5. Ilyasov R.Kh. "Latent" flow correlations in economics: spline analysis // Izvestia of St. Petersburg State University of Economics [Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta]. 2021. N 1 (127). P. 35–41 (in Rus).
6. Ilyasov R.Kh. Spline analysis of flow correlation // Economic analysis: theory and practice [Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika]. 2020. V. 19. N 1 (496). P. 173–187 (in Rus).
7. Kazantseva A.N. Issues of development and implementation of state policy in the field of production and circulation of environmentally friendly products // Theory and practice of service: economics, social sphere, technologies [Teoriya i praktika servisa: ekonomika, sotsial'naya sfera, tekhnologii.]. 2018. N 2 (36). P. 16–20 (in Rus).
8. Plotnikov V.A., Babenkov V.I. Economic security of the Russian oil and gas industry in the conditions of the energy transition // Economic vector [Ekonomicheskii vektor]. 2021. N 3 (26). P. 55–61 (in Rus).
9. Theory of sustainable development of economy and industry / A.A. Aletdinova, A.V. Babkin, N.N. Bulatova, etc. St. Petersburg, 2016. 756 p. (in Rus)
10. Fedotova G.V., Slozhenkina M.I. Scenarios for the global breakthrough of Russian agriculture within the framework of the "green" economy // Agricultural and food innovations [Agrarnopishchevye innovatsii]. 2020. N 2 (10). P. 20–32 (in Rus).
11. Khalil M.R.A. Priorities of the state policy of regulating sustainable development and stimulating the green economy // Izvestia of St. Petersburg State University of Economics [Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta]. 2020. N 1 (121). P. 176–182 (in Rus) (in Rus).
12. Adelodun B., Kareem K.Y., Kumar P., Kumar V. at al. Understanding the impacts of the COVID-19 pandemic on sustainable agri-food system and agroecosystem decarbonization nexus: A review // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 318. P. 128451.
13. Banker R.D., Byzalov D., Fang S., Jin B. Operating asymmetries and non-linear spline correction in discretionary accrual models // Review of Quantitative Finance and Accounting. 2020. N 54 (3). P. 803–850.
14. Buletova N.Ye., Gorelova I.V., Golomanchuk A.V., Orlova Ye.R. New interaction paradigm of ecological, social and economic structures of human activity // Economy of Regions. 2015. N 2 (42). P. 59–71.
15. Cui Z., Kirkby J.L., Nguyen D. Nonparametric Density Estimation by B-Spline Duality // Econometric Theory. 2020. N 36 (2). P. 250–291.
16. Depren S.K., Kartal M.T. Prediction on the volume of non-performing loans in Turkey using multivariate adaptive regression splines approach // International Journal of Finance and Economics. 2021. N 26 (4). P. 6395–6405.
17. Edwards J.R., Parry M.E. On the Use of Spline Regression in the Study of Congruence in Organizational Research // Organizational Research Methods. 2018. N 21 (1). P. 68–110.

18. Gao G., Meng S. Stochastic claims reserving via a Bayesian spline model with random loss ratio effects // *ASTIN Bulletin*. 2018. N 48 (1). P. 55–88.
19. Green J., Hadden J., Hale T., Mahdavi P. Transition, hedge, or resist? Understanding political and economic behavior toward decarbonization in the oil and gas industry // *Review of International Political Economy*. 2021. DOI: 10.1080/09692290.2021.1946708
20. Güllüm M., Yesilyurt M.K., Bilgin A. The performance assessment of cubic spline interpolation and response surface methodology in the mathematical modeling to optimize biodiesel production from waste cooking oil // *Fuel*. 2019. Vol. 255. P. 115778.
21. Hill R.J., Scholz M. Can Geospatial Data Improve House Price Indexes? A Hedonic Imputation Approach with Splines // *Review of Income and Wealth*. 2018. N 64 (4). P. 737–756.
22. Ilyasov R.H. About the method of analysis of economic correlations by differentiation of spline models // *Modern Applied Science*. 2014. Vol. 8. N 5. P. 197–203.
23. Keller W., Borkowski A. Thin plate spline interpolation // *Journal of Geodesy*. 2019. N 93 (9). P. 1251–1269.
24. Sarfraz M., Mohsin M., Naseem S., Kumar A. Modeling the relationship between carbon emissions and environmental sustainability during COVID-19: a new evidence from asymmetric ARDL cointegration approach // *Environ Dev Sustain*. 2021. N 23. P. 16208–16226.
25. Xu L., Fan M., Yang L., Shao S. Heterogeneous green innovations and carbon emission performance: Evidence at China's city level // *Energy Economics*. 2021. N 99. P. 105269.

About the authors:

Ruslan H. Ilyasov, Head of the Chair of Accounting, Analysis and Audit in the Digital Economy of Kadyrov Chechen State University (Grozny, Chechen Republic, Russian Federation), Candidate of Economic Sciences, Associate Professor; ilyasov_95@mail.ru

Vladimir A. Plotnikov, Professor of the Chair of the General Economic Theory and History of an Economic Thought of St. Petersburg State University of Economics (St. Petersburg, Russian Federation), Doctor of Science (Economics), Professor; plotnikov_2000@mail.ru.