

БЕНЕФИЦИАРЫ НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ПОВЕСТКИ: ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

© 2024 г. А.А. Шилов^{а,*}, А.Ю. Колпаков^{а,**}, М.С. Гусев^{а,***}

^аИнститут народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия

*E-mail: schir@ecfor.ru

**E-mail: kolpakov@ecfor.ru

***E-mail: m.gusef@mail.ru

Поступила в редакцию 19.08.2024 г.

После доработки 30.08.2024 г.

Принята к публикации 19.09.2024 г.

В статье рассматривается влияние интенсивной декарбонизации на динамику крупнейших экономик мира на основе единого методического подхода и комплексного модельного инструментария. Важнейшие факторы, определяющие экономическую эффективность политики декарбонизации, — уровень экономического развития, отраслевая и технологическая структура экономики, зависимость от импорта энергоносителей. Для ряда развивающихся стран амбициозные сценарии декарбонизации предполагают достаточно серьёзные потери ВВП. Бенефициарами низкоуглеродной повестки выступают страны ЕС и Китай, где рост цен, необходимый для окупаемости затрат на декарбонизацию, нивелирует сокращение импорта углеводородов и наращивание доходов в отраслях, которые производят продукцию в сфере низкоуглеродных технологий. Россия относится к группе стран со средней чувствительностью к декарбонизации. Её конкурентные преимущества связаны с существенным потенциалом относительно недорогих мер и высокой долей низкоуглеродных источников генерации электроэнергии.

Ключевые слова: социально-экономическое развитие, низкоуглеродная политика, парниковые газы, эмиссии, энергия, сценарии, затраты—выпуск.

DOI: 10.31857/S0869587324110012, **EDN:** SFFLIL

Климатическая повестка на протяжении нескольких десятилетий привлекает пристальное внимание мирового сообщества. За это время сформировались взгляды, касающиеся процессов изменения климата, роли в них антропогенного фактора и необходимости реализации специальных мер по смягчению последствий и адаптации к климатическим изменениям. Всё ещё ведутся споры о роли человека в изменении

климата, однако в перспективе следует ориентироваться на достижение политического консенсуса о необходимости декарбонизации мировой экономики. Эта позиция неоднократно подтверждалась международными договорённостями в соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата.

В последние годы мировая экономика вступила в стадию структурной трансформации, связан-



ШИРОВ Александр Александрович — член-корреспондент РАН, директор ИНП РАН. **КОЛПАКОВ** Андрей Юрьевич — кандидат экономических наук, заведующий лабораторией анализа и прогнозирования климатических рисков экономического развития ИНП РАН. **ГУСЕВ** Михаил Сергеевич — кандидат экономических наук, заведующий лабораторией среднесрочного прогнозирования воспроизводственных процессов ИНП РАН.

ной с повышением роли крупных развивающихся стран [1]. Это ведёт к обострению международной конкуренции, переформатированию торговых связей, повышению значимости технологических изменений. Низкоуглеродная повестка становится важным элементом формирования экономической динамики, а отдельные страны используют её как инструмент поддержания конкурентоспособности и получения дополнительных доходов.

Дискуссия об экономической эффективности принимаемых решений далека от завершения. Сложилось мнение, что реализация наиболее амбициозных программ декарбонизации способствует достижению ключевых целей устойчивого развития в области климата и экономики. Однако эту точку зрения поддерживают преимущественно крупные развитые страны, прошедшие индустриальную стадию и лидирующие в сфере разработки и внедрения низкоуглеродных технологий. Развивающиеся страны, находящиеся в процессе активной индустриализации, занимают более осторожную позицию. Их подход к декарбонизации обусловлен тем, что рост эффективности экономики и снижение выбросов парниковых газов взаимосвязаны, при этом фронтальное развитие производств должно учитывать не только углеродный след, но и стоимость используемых технологических решений. В связи с этим будет логично сослаться на систему целей устойчивого развития ООН, в частности цели № 13 (“Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями”) и № 8 (“Содействие неуклонному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех”). Равнозначность всех целей устойчивого развития предопределяет баланс низкоуглеродной повестки и развития экономики.

Отсутствие консенсуса относительно технологических решений и целевых параметров декарбонизации говорит о расхождении интересов и диверсифицированной чувствительности экономик к низкоуглеродным процессам. К настоящему времени опубликовано достаточно работ, посвящённых обоснованию подходов к разработке и реализации низкоуглеродной политики. Большинство авторов делает акцент на построении сценариев снижения выбросов парниковых газов [2–5], меньше внимания уделяется сопоставлению результативности программ декарбонизации разных стран.

Дискуссии о “победителях” и “проигравших” предшествует вопрос об оценке социально-экономических эффектов низкоуглеродной трансформации [6]. Сторонники климатической повестки, уверенные в наличии экономической выгоды, аргументируют свою позицию с помощью следующих постулатов [7, 8]:

- внедрение низкоуглеродных решений связано с масштабными инвестициями, которые обеспечивают позитивный вклад в ВВП (как прямой — через

увеличение выпуска фондообразующих секторов, так и за счёт мультипликативных эффектов);

- более распределённый¹ характер низкоуглеродных решений приведёт к увеличению числа рабочих мест [9, 10] и соответствующему росту доходов и потребления домохозяйств;
- сокращение импорта углеводородов станет мощным экономическим бонусом для многих стран;
- выгода низкоуглеродной трансформации заключается также в повышении эффективности экономической системы, появлении новых производств и целых отраслей, получении доходов на новых технологических рынках [11–13].

Удлинение аналитической цепочки заставляет обратить внимание на несколько дополнительных факторов, которые могут поставить под сомнение обоснованность положительных оценок декарбонизации. Во-первых, экспорт углеводородов служит важным источником доходов для многих стран, в частности, поставки нефти и газа обеспечили около 20% экспортной выручки США в 2022–2023 гг. (по данным World Bank). Очевидно, что снижение мирового потребления углеводородов негативно отразится на энергосырьевых экономиках [14–19]. Кроме того, не вполне ясны последствия для финансовой системы, которая в значительной степени опирается на энергетические активы [20]. Во-вторых, инвестиции в низкоуглеродные решения и применение экономических механизмов регулирования выбросов парниковых газов создают огромное инфляционное давление на экономику, а основной удар приходится на наименее обеспеченные слои общества [21, 22], что усиливает неблагоприятный социальный фон. С учётом этих факторов можно прийти к выводу о негативном влиянии низкоуглеродной трансформации на ВВП (только если не будут сделаны научно-технологические прорывы, которые смягчат урон экономике) [23]. На фоне таких неутешительных прогнозов возник ряд научных теорий.

Согласно первой теории, классические показатели экономического развития, основанные на подсчёте доходов², не могут адекватно отразить многофакторную климатическую повестку. Как

¹ Имеются в виду два аспекта на примере возобновляемой энергетики: единичная мощность установок ниже по сравнению с традиционной энергетикой, а массогабаритные характеристики больше; производственные мощности в большей степени привязаны к конкретным локациям, характеризующимся благоприятными природными факторами, то есть меньшая связность с центрами потребления. В результате становится больше маломощных громоздких объектов генерации, удалённых от центров потребления, и требуется больше людей, чтобы такую систему обслуживать.

² Не углубляясь в эти комплексные вопросы, следует подчеркнуть, что доход служит ключевым ресурсом для финансирования мер достижения целей устойчивого развития, а экономический рост — источником дохода.

следствие, возникает вопрос о разработке альтернативных комплексных критериев и индикаторов развития [24–26]. Наиболее экстремальные трактовки этих идей настаивают на необходимости такого экономического роста, который не позволит достичь целей устойчивого развития [27].

Вторая теория основана на оценке “сопутствующих выгод” (co-benefits), подразумевающих предотвращение потенциального ущерба от изменения климата, включая: повреждение зданий и сооружений из-за учащения опасных гидрометеорологических явлений; потеря суши и основных фондов из-за повышения уровня Мирового океана; увеличение смертности и заболеваемости, связанное с сердечно-сосудистыми, респираторными, инфекционными заболеваниями и др. Размер сопутствующих выгод, как правило, превосходит затраты на снижение выбросов парниковых газов в долгосрочной перспективе [28–32].

Существуют частные оценки выгод, которые получают некоторые страны от интенсификации низкоуглеродной повестки. Например, формирование “климатического клуба” за счёт научно-технологической и торговой кооперации крупнейших развитых и развивающихся стран позволяет им смягчить экономические потери от реализации капиталоемких методов снижения выбросов. При этом в относительном выражении наибольшие выгоды от диффузии технологий и дешёвого климатического финансирования получают Китай и Индия [33]. Анализ патентной активности в сфере возобновляемых источников энергии показал, что лидеры по количеству заявок на патент — специализированные центры в Китае, США, ЕС, Японии и Южной Корее. Соответственно, развитие возобновляемой генерации позволит нарастить технологическую ренту в этих странах [34].

С целью расширения дискуссии о выгодах низкоуглеродной повестки рассмотрим сценарии социально-экономического развития с разным уровнем выбросов парниковых газов, построенные для разных стран по единой методологии, и сравним экономические эффекты, возникающие при реализации сценария интенсивной декарбонизации.

Методология. Для проведения анализа чувствительности экономик рассматриваемых стран к различным (в том числе амбициозным) сценариям декарбонизации разработаны унифицированный методический подход и модельный инструмент (рис. 1).

Главный элемент подхода — статическая межотраслевая макроструктурная модель размерностью 45 отраслей, которая дополнена ценовой моделью межотраслевого баланса, подробным блоком формирования топливно-энергетического баланса (ТЭБ) и блоком расчёта выбросов парниковых газов. Источники статистических данных для модельных стран унифицированы. Межотрас-

левые балансы (МОБ) основаны на данных OECD³; при построении ценовой модели, помимо МОБ, дополнительно учтены валютные курсы IMF и индексы World Bank по мировым и импортным ценам на отдельные товары. Часть ТЭБ, описывающая баланс углеводов, строится либо на Национальных кадастрах антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов⁴, либо на балансах IEA⁵ в случае отсутствия в стране кадастра⁶. Части ТЭБ, описывающие балансы электроэнергии, тепла, безуглеродной энергии, построены либо согласно официальной национальной отчётности, либо на балансах IEA. Источником данных по выбросам парниковых газов служат кадастры. В случае отсутствия кадастра рассчитываются только выбросы парниковых газов от сжигания топлива, а результат верифицируется с экспертными оценками.

В прогнозном периоде для каждого года реализована многоступенчатая итеративная процедура. Сначала происходит согласование динамики основных макроэкономических и отраслевых показателей (ВВП, элементы конечного потребления и добавленной стоимости, выпуски и индексы цен) путём решения модифицированной статической и ценовой моделей МОБ [35]. При этом элементы валовой добавленной стоимости служат индикаторами доходов разных субъектов экономической деятельности: оплата труда — населения, прибыль — бизнеса, налоги — государства. Эти доходы перераспределяются в потребление домашних хозяйств, инвестиции в основной капитал и госпотребление соответственно, формируя модельную динамику элементов конечного потребления.

Выпуски (то есть товары или услуги) неэнергетических отраслей — один из факторов, определяющих потребление ими топливно-энергетических ресурсов в блоке ТЭБ. Здесь же с учётом объёмов

³ <https://www.oecd.org/en/data/datasets/input-output-tables.html>

⁴ Кадастр разрабатывается рядом стран по единой методологии, утверждённой Межправительственной группой экспертов по изменению климата.

⁵ <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances>

⁶ Национальный кадастр разрабатывается для следующих стран и регионов: ЕС-27 (включая все страны по отдельности), Великобритания, Норвегия, Швейцария, Исландия, Лихтенштейн, Монако, США, Канада, Австралия, Новая Зеландия, Турция, Россия, Беларусь, Казахстан, Украина. Национальный кадастр представляет собой подробный доклад об источниках и объёме выбросов и поглощений всех парниковых газов начиная с 1990 г. Более 150 стран (включая Китай и Индию) не разрабатывают национальные кадастры, поэтому для них подробные ежегодные данные о выбросах отсутствуют — существуют лишь профили стран в отчётности ООН (около 250 полезных ячеек с данными об объёме выбросов в отдельные годы по сравнению с почти 500 тыс. ячеек в национальном кадастре) или экспертные оценки, не относящиеся к официальной отчётности.

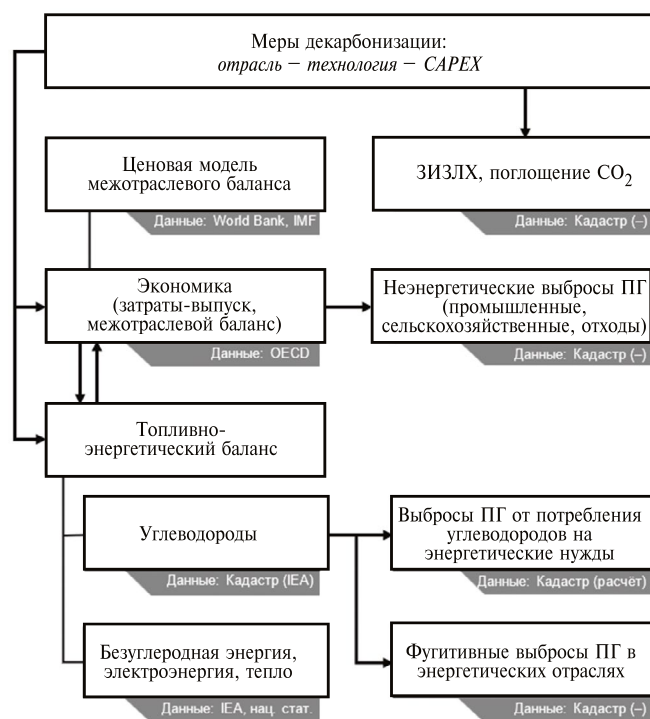


Рис. 1. Схема построения сценариев социально-экономического развития с низким уровнем нетто-выбросов парниковых газов

В скобках указан источник статистических данных в случае отсутствия кадастра; CAPEX (capital expenditure) – капитальные затраты; ЗИЗЛХ – сектор “Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство”; ПГ – парниковые газы

внешней торговли рассчитывается производство топливно-энергетических ресурсов, которое выступает фактором динамики выпусков энергетических отраслей в межотраслевых балансах. Следующий этап – расчёт категорий выбросов парниковых газов: потребление углеводородов обуславливает энергетические выбросы от сжигания топлива; производство и трубопроводная транспортировка углеводородов – фугитивные выбросы⁷ в энергетических отраслях; выпуски отраслей – неэнергетические выбросы (промышленные с выделением металлургии, химии, промышленности строительных материалов; сельскохозяйственные; выбросы от отходов, основной объём которых определяется выпусками пищевой, целлюлозно-бумажной, лёгкой, деревообрабатывающей промышленности, строительства и сельского хозяйства).

⁷ Согласно приказу Минприроды России от 27.05.2022 г. № 371, фугитивные выбросы парниковых газов – это организованные и неорганизованные выбросы CH_4 и CO_2 в атмосферу, возникающие в результате технологических операций, осуществляемых при добыче, транспортировке, хранении и переработке сырой нефти и природного газа, а также при добыче угля подземным способом.

Процесс низкоуглеродной трансформации экономики состоит из двух направлений. Во-первых, развитие экономики естественным образом сопровождается инвестициями и структурными сдвигами, что влечёт за собой эволюционное снижение её ресурсо-, энерго-, углеродоёмкости. Во-вторых, применяются специализированные меры декарбонизации, среди которых модель рассматривает:

- увеличение доли электромобилей и водородных автомобилей в автопарке;
- рост безуглеродной генерации электроэнергии (АЭС, ГЭС, ВИЭ);
- развитие электрометаллургии;
- расширение сектора производства и поставки водорода;
- улавливание CO_2 ;
- полезное использование попутного нефтяного газа;
- борьба с фугитивными эмиссиями на месторождениях углеводородов и трубопроводах;
- наращивание поглощения CO_2 лесными землями;
- утилизация отходов производства и потребления, рекультивация свалок.

Выбросы в секторе “Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство” и улавливание углекислого газа зависят от параметров специализированных мер декарбонизации. Вместе с ранее описанными категориями они формируют полный баланс выбросов парниковых газов. Основные экзогенные параметры модели: численность населения, объём экспорта, цены энергетических рынков, курс доллара, налоговые ставки, параметры потребления домохозяйств и государства, структура накопления основного капитала, энергоёмкость отраслей, капиталоемкость мер декарбонизации.

Пакет специализированных мер декарбонизации, требующий соответствующих затрат, определяет сценарные условия модельных расчётов. Особенность подхода заключается в учёте социально-экономических последствий реализуемых мер. Функциональные связи в модели предусматривают, что специализированные инвестиции, направленные на снижение выбросов парниковых газов, во-первых, формируют спрос на продукцию фондообразующих секторов, во-вторых, приводят к перераспределению товарных потоков, стимулируя технологическую перестройку экономики, в-третьих, ведут к росту цен в соответствующей инвестирующей отрасли, что предопределяет общий рост цен в экономике и ведёт к снижению конечного спроса. Последний аспект ограничивает масштабы экономически эффективной декарбонизации.

Модельный инструмент не предполагает полноценного рассмотрения сценариев, связанных с перестроением мировой торговли из-за

глобальной декарбонизации (снижение спроса на углеводороды и развитие рынков низкоэмиссионных технологий). В рамках расчётов предполагается, что страны, экспортирующие углеводороды, не смогут гарантированно реализовать их объёмы, высвободившиеся по причине декарбонизации. Поэтому снижение внутреннего потребления углеводородов приводит к соответствующему сокращению их производства. Если же декарбонизация реализуется в странах, импортирующих углеводороды, это в первую очередь приведёт к сокращению импортного потока. Согласно этой логике, импорт выступает в роли балансирующей строки в модели.

Разработанный инструмент позволяет создавать сценарии декарбонизации для отдельных стран, а именно: оценивать возможную динамику нетто-

выбросов парниковых газов с учётом ожидаемых темпов экономического роста, структурных и технологических изменений, ограничений с точки зрения финансирования декарбонизации.

Результаты. С помощью описанного метода были разработаны два сценария для США, ЕС-27, Китая, Индии, Саудовской Аравии, Казахстана и России:

- сценарий С1, в рамках которого затраты на реализацию специализированных мер декарбонизации за 2022–2060 гг. составляют 1% накопленного ВВП за этот же период;
- сценарий С3 — затраты на декарбонизацию эквивалентны 3% накопленного ВВП.

Для крупных экономик США и ЕС-27, в структуре которых преобладает сфера услуг, сценарий С1

Таблица 1. Затраты на специализированные меры декарбонизации за 2022–2060 гг. (в ценах 2018 г.), трлн долл. (по оценкам авторов)

Меры декарбонизации	США		ЕС-27		Китай		Индия		Саудовская Аравия		Казахстан		Россия	
	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3	C1	C3
Безуглеродное производство электроэнергии	5.2	14	5	8.11	8.62	21.3	2.56	6.92	0.25	0.89	0.05	0.12	0.42	1.02
Зарядная инфраструктура для электромобилей	0.38	1.08	0.40	1.07	0.95	1.98	0.52	1.38	0.02	0.04	0	0.01	0.04	0.1
Госсубсидии на покупку электрического транспорта	3.86	11.78	2.04	10.29	0.69	7.96	0.86	3.79	0.03	0.06	0	0.01	0.28	0.67
Фугитивные выбросы в топливно-энергетическом комплексе	0.06	0.08	0.11	0.11	—	—	—	—	—	—	0.04	0.09	0.18	0.7
Производство водорода	0.43	3.29	0.23	0.76	1.07	1.77	0.22	0.4	0.08	0.18	0	0.01	0.01	0.06
Улавливание CO ₂	0.22	0.57	0.19	0.94	0.12	0.33	0.02	0.14	0.06	0.13	0	0.06	0.02	0.21
Поглощение CO ₂ экосистемами	0.02	0.02	0.03	0.04	—	—	—	—	—	—	0	0	0.01	0.08
Другие меры	0.10	0.15	0.13	0.18	0.50	0.79	0.30	0.47	0.01	0.01	0	0	0.04	0.07
Итого,	10.28	30.96	8.14	21.49	11.94	34.13	4.49	13.08	0.45	1.31	0.11	0.32	1	2.92
в том числе профинансировано за счёт углеродных сборов	2.17	3.89	2.51	4.22	1.13	16.96	0	6.45	0	0.35	0	0.16	0	1.44

означает существенную низкоэмиссионную трансформацию, а СЗ может условно восприниматься как сценарий глубокой декарбонизации. Для развивающихся экономик сценарий С1, скорее, соответствует их эволюционному развитию, поскольку здесь имеют место естественные структурно-технологические сдвиги и внедрение современных технологий, и их стоимостный объём соизмерим с количественным критерием сценария.

В таблице 1 приведены затраты на специализированные меры декарбонизации за 2022–2060 гг. Наибольшего финансирования требуют следующие

направления: развитие безуглеродной генерации (в среднем половина всех затрат с разбросом примерно 35–70% в зависимости от сценария и страны); поддержка развития электрифицированного транспорта (электромобили, подключаемые гибриды, водородные автомобили) – в среднем четверть всех затрат с разбросом 5–50%; улавливание CO₂ и развитие водородной отрасли (по 5%). Преобладание затрат на низкоуглеродную генерацию объясняется тем, что, во-первых, декарбонизация предполагает ускоренную электрификацию процессов во всех сферах, во-вторых, вследствие нестабильной природы возоб-

Таблица 2. Потребление первичной энергии, Эдж (по оценкам авторов)

Страна	Фактическое			С1				СЗ			
	2000	2010	2021	2030	2040	2050	2060	2030	2040	2050	2060
США											
Первичная энергия,	98.6	96.8	95.5	95.3	93	91.5	91.9	95	92.4	96.2	105.5
в том числе безуглеродные источники	9.8	10.6	12.3	14.1	16.7	21.1	27.3	14.8	21	38.5	68.5
ЕС-27											
Первичная энергия,	62.4	64.4	58.2	56.5	53.8	51.7	50.2	56.4	52.7	49.7	48.3
в том числе безуглеродные источники	10.8	11.5	11.5	13.6	16.3	19.8	23.3	13.6	16.7	21.8	26.6
Китай											
Первичная энергия,	49.1	109.2	149.9	182.2	199.8	212	227.9	181.3	193.6	199.8	202.2
в том числе безуглеродные источники	1	3.5	12.8	21.4	30.5	40.5	55.1	22.6	37.5	58.9	92
Индия											
Первичная энергия,	18.7	28.7	44.8	68.5	103.7	143.9	181.9	68.1	99.6	133.1	161.4
в том числе безуглеродные источники	0.5	0.8	1.9	3.6	6.1	9.8	14.5	3.7	7.2	13.3	22.2
Саудовская Аравия											
Первичная энергия,	3.6	6.2	7.3	9.2	10.4	11.7	13.1	9.1	10.1	10.4	10.3
в том числе безуглеродные источники	0	0	0	0	0.2	0.5	1	0.1	0.3	1	2.8
Казахстан											
Первичная энергия,	1.6	2.9	2.9	3.3	4	4.6	5.3	3.3	3.8	4.3	4.7
в том числе безуглеродные источники	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4
Россия											
Первичная энергия,	24.6	26.8	29.6	31.4	33.6	35.5	37.5	31.3	32.9	34.8	37
в том числе безуглеродные источники	2	2.5	3.2	3.5	4.3	5.2	6.2	3.5	4.7	6.9	9.9

новляемой генерации необходимо её резервирование с помощью систем аккумулирования, чтократно увеличивает номинальную капиталоемкость [36].

При построении сценариев часть затрат на декарбонизацию можно компенсировать за счёт механизма углеродных сборов, при этом размер платежа за тонну выбросов не превышает 200 долл., поскольку при такой цене большинство мер декарбонизации становятся экономически эффективными (это ограничение применимо в первую очередь для развитых экономик США и ЕС-27), а объём финансирования мер за счёт углеродных сборов не превышает 50% (ограничение применимо для развивающихся экономик Китая, Индии, Саудовской Аравии, Казахстана и России).

В таблице 2 приведены объёмы потребления первичной энергии. При переходе от сценария С1 к С3, помимо очевидного увеличения доли безуглеродных источников в топливно-энергетическом балансе, ярко выражены два феномена, влияющие на параметры энергопотребления. Во-первых, из-за замедления экономической динамики сокращается

объект, создающий спрос на энергию, в результате чего формируется фактор снижения её первичного потребления.

Во-вторых, из-за активного внедрения безуглеродных решений снижается эффективность системы энергоснабжения в целом. Главным образом это относится к водороду, интенсификация использования которого будет сопровождаться дополнительными трансформационными процессами в цепочке энергоснабжения: получение чистого водорода требует преобразования первичной энергии в электроэнергию, а затем — электролиза воды, что и служит фактором увеличения первичного потребления энергии.

Практически для всех рассматриваемых стран первый феномен — определяющий: общее энергопотребление в сценарии С3 ниже, за исключением США, где масштабный перевод грузовых автоперевозок (с очень большими пробегами) на чистый водород формирует огромный дополнительный спрос на топливно-энергетические ресурсы.

В таблице 3 представлены нетто-выбросы парниковых газов. Анализ охватывает 24.4 млрд т CO₂-экв.

Таблица 3. Нетто-выбросы парниковых газов, млн т CO₂-экв. (по оценкам авторов)

Сценарий	2000	2010	2021	2030	2040	2050	2060	2060/2021
США								
С1	6533	6307	5586	5273	4689	3988	3449	−38%
С3	6533	6307	5586	5217	4319	2961	1409	−75%
ЕС-27								
С1	4143	3824	3238	2902	2307	1816	1394	−57%
С3	4143	3824	3238	2901	2122	1335	604	−81%
Китай								
С1	3314	8199	10 521	11 976	12 268	12 046	11 675	11%
С3	3314	8199	10 521	11 779	11 129	9448	6568	−38%
Индия								
С1	948	1634	2656	4155	6282	8584	10 538	297%
С3	948	1634	2655	4101	5812	7332	8054	203%
Саудовская Аравия								
С1	194	330	368	465	484	497	490	33%
С3	194	330	368	457	425	321	226	−39%
Казахстан								
С1	303	385	346	352	400	438	460	33%
С3	303	385	346	341	351	342	318	−8%
Россия								
С1	1451	1350	1679	1796	1866	1891	1889	12%
С3	1451	1350	1679	1766	1367	799	508	−70%
Всего								
С1	16 886	22 029	24 394	26 918	28 298	29 261	29 895	23%
С3	16 886	22 029	24 394	26 562	25 525	22 538	17 687	−27%

по состоянию на 2021 г., то есть 41% от глобальных выбросов [37]. Сценарий С1 демонстрирует увеличение общих выбросов на протяжении всего прогнозного периода: относительно 2021 г. прирост составит 16% в 2040 г. и 23% — в 2060 г. Несмотря на эффективную декарбонизацию развитых стран (выбросы в США снизятся почти на 40% за 2021–2060 гг., в ЕС — почти на 60%), все без исключения развивающиеся страны увеличат выбросы на 11–33%, то есть драйвер экономического роста оказывается здесь преобладающим.

Согласно сценарию С3, пик выбросов будет наблюдаться в 2030 г., после чего показатели снизятся, а итоговая динамика за 2021–2060 гг. составит –27%. В развитых экономиках произойдёт глубокая декарбонизация с сокращением нетто-выбросов примерно на 80%, в России — на 70% (это станет возможным благодаря наращиванию поглощающей способности экосистем, в первую очередь лесных). Практически все развивающиеся страны снизят выбросы на 9–39% к 2060 г. Единственное исключение — Индия, где даже пакета специализированных мер объёмом в 3% ВВП недостаточно, чтобы нивелировать вклад ожидаемого масштабного экономического развития.

Следствием активной политики декарбонизации станет рост цен (табл. 4), что объясняется двумя об-

стоятельствами: необходимостью обеспечить окупаемость вложенных инвестиций и более жёстким режимом углеродного регулирования, нацеленным на создание экономических стимулов и перераспределение средств бизнеса в пользу внедрения низко-эмиссионных технологий в производственные цепочки. Таким образом, сценарий С3 (по сравнению с С1) характеризуется ускоренной ценовой динамикой: на 8–17% в период до 2040 г. и на 12–73% — до 2060 г.

Оценка комплексного влияния политики декарбонизации на ВВП представлена в таблице 5. В целом для всех рассмотренных стран сценарии интенсивной декарбонизации обеспечивают более низкую экономическую динамику.

Наименее чувствительными к амбициозной декарбонизации оказались ЕС-27 и Китай, где суммарные накопленные потери ВВП до 2060 г. оцениваются в 0.2–0.3 годового ВВП 2021 г. Это обусловлено сокращением импорта углеводородов, а также наличием собственных технологий и низкой зависимостью от технологического импорта при реализации мер снижения выбросов парниковых газов. В результате декарбонизация трансформируется в положительное накопление основного капитала, то есть инвестиции в снижение выбросов оказывают более высокий позитивный эффект по сравнению

Таблица 4. Индекс роста цен (дефлятор выпуска), 2021 г. принят за 100 (по оценкам авторов)

Сценарий	2021	2030	2040	2050	2060
США					
С1	100	110.4	132.2	152.3	179.9
С3	100	113.1	145.4	203.5	274.3
ЕС-27					
С1	100	112.4	136.3	168.4	212.2
С3	100	114.5	147.1	191.2	264.6
Китай					
С1	100	124.9	153.4	191	247.6
С3	100	128.2	173.9	222.2	277.3
Индия					
С1	100	140.7	179	236.1	323.8
С3	100	145.2	204.4	305.2	477.6
Саудовская Аравия					
С1	100	115.7	147	187.9	254.7
С3	100	118.1	161.8	288.5	439.6
Казахстан					
С1	100	123.1	143.7	163.9	188.5
С3	100	126.1	158.6	195.3	230.6
Россия					
С1	100	118.9	141.1	164.7	195.5
С3	100	120.4	164.7	197.6	242.9

Таблица 5. Динамика ВВП, по оценкам авторов

Страна	Годовой объём ВВП (в ценах 2018), трлн долл.							Накопленный объём ВВП за 2022–2060 гг.	
	2000	2010	2021	2030	2040	2050	2060	трлн долл. (2018)	как количество ВВП 2021 г.*
США									
C1	14.2	17	21.4	24.4	27.5	31.2	35.4	1097.2	51.2
C3	14.2	17	21.4	24.3	27.1	29.8	33.3	1067.9	49.9
ЕС-27									
C1	11.5	13.2	15.5	17.3	19.4	21.9	24.8	775	50.2
C3	11.5	13.2	15.5	17.2	19.3	21.8	24.5	770.7	49.9
Китай									
C1	2.8	7.6	15.6	21.2	27.9	36	46.6	1154.6	73.9
C3	2.8	7.6	15.6	21.2	27.6	35.9	46.9	1151.3	73.7
Индия									
C1	0.8	1.6	3.2	5.4	9.3	15.1	22.8	427.8	132.5
C3	0.8	1.6	3.2	5.3	9.2	14.8	22.4	421.3	130.5
Саудовская Аравия									
C1	0.4	0.6	0.8	0.9	1.1	1.4	1.7	46.1	59.3
C3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6	44.1	56.6
Казахстан									
C1	0.06	0.12	0.17	0.21	0.27	0.34	0.43	11.1	66.6
C3	0.06	0.12	0.17	0.21	0.26	0.32	0.41	10.7	64.1
Россия									
C1	0.9	1.4	1.7	2.1	2.5	3	3.6	101.9	59.6
C3	0.9	1.4	1.7	2.1	2.4	2.9	3.4	98.7	57.7

Примечание: * – рассчитывается накопленный объём ВВП за 2022–2060 гг., полученное значение делится на размер ВВП 2021 г., получаем, сколько современных ВВП будет сгенерировано в будущем.

с потерями иных направлений инвестиций, которые происходят из-за роста цен.

США демонстрируют среднюю чувствительность: страна теряет 1.3 годовых ВВП в период до 2060 г. при интенсивной низкоэмиссионной трансформации. Серьёзным негативным фактором станет вынужденное сокращение внутреннего производства нефти, нефтепродуктов и природного газа, которое формирует заметную долю доходов, особенно после так называемой сланцевой революции [38, 39].

Россия и Индия – страны средней чувствительности, где масштаб потерь составляет 1.9–2 годовых ВВП до 2060 г. В экономике России роль нефтегазового сектора выше, чем в США, поэтому снижение его выпуска означает более высокие потери экономического динамики. В то же время наличие значительного потенциала недорогих мер декарбонизации, касающихся экосистем и фугитивных выбросов, а также высокая доля в энергетике стра-

ны низкоуглеродных топливно-энергетических ресурсов смягчают негативное воздействие роста цен. Декарбонизация Индии будет сопряжена с постепенным ослаблением угольного сектора и наращиванием импорта технологического оборудования, однако в целом благоприятный экономический фон окажет демпфирующий эффект.

Наиболее чувствительными оказались Саудовская Аравия и Казахстан, которые при ускоренной декарбонизации потеряют 2.5–2.6 годовых ВВП. Обе страны столкнутся с необходимостью отказа от использования собственного дешёвого жидкого и твёрдого топлива в пользу импортных решений, что ухудшит параметры торгового баланса и вызовет скачок цен. Следует, однако, отметить, что страны, являющиеся сырьевыми экспортёрами (наподобие Саудовской Аравии), как правило, и сегодня импортируют подавляющую долю технологической продукции (машины, оборудование, технологии). Поэтому переход

на новый технологический уклад принципиально не повлияет на ситуацию с импортом, то есть он так или иначе сохранится, но изменятся его структура и закупочные цены (которые, вероятно, вырастут из-за более высокой капиталоемкости низкоэмиссионных технологий).

* * *

Глобальная низкоуглеродная повестка имеет явный экономический подтекст. Независимо от успешности заявленных целей по кардинальному сокращению выбросов парниковых газов (что является тяжелой задачей: даже пакет специализированных мер объемом в 3% ВВП обеспечит скромный результат в мировом масштабе), политика декарбонизации — по сути, драйвер технологической перестройки, который создаст ограничения для одного класса продукции и предпочтения для другого. Роль этих классов в экономике и внешней торговле конкретных стран формирует новый баланс потерь и выгод.

В целом ускоренная декарбонизация влечёт за собой замедление экономической динамики крупнейших стран и регионов мира. Рост цен, необходимый для окупаемости затрат на внедрение низкоуглеродных решений (первоочередная цель которых не рост выпуска, а изменение качества продукции), оказывается доминирующим фактором. Он сдерживает все категории потребления в экономике (промежуточное, капитальное, домохозяйства, государство), снижая потенциал формирования доходов. Однако экономические потери распределяются по странам неравномерно. Наименее чувствительны к последствиям низкоуглеродной трансформации Китай и страны ЕС, которые, помимо ценовых шоков, получают позитивные эффекты в виде сокращения импорта углеводородов и загрузки отечественного специализированного машиностроения. Для них стратегически позволительно допустить некоторые экономические потери, ведь остальные страны столкнутся с более серьёзным ущербом. Таким образом, Китай и ЕС становятся главными бенефициарами низкоуглеродной повестки, что создаст для них дополнительные конкурентные преимущества в новой конфигурации мировой экономики.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования РФ на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития № 075-15-2024-551 “Глобальные и региональные центры силы в формирующемся мироустройстве”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дынкин А.А. Международная турбулентность и Россия // Вестник РАН. 2020. № 3. С. 208–219.

2. Dynkin A.A. International Turbulence and Russia // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2020, no. 2, pp. 127–137.
3. Richels R.G., Blanford G.J. The value of technological advance in decarbonizing the U.S. economy // Energy Economics. 2008, vol. 30, iss. 6, pp. 2930–2946.
4. van de Ven D.J., Mittal S., Gambhir A. et al. A multimodel analysis of post-Glasgow climate targets and feasibility challenges // Nature Climate Change. 2023, no. 13, pp. 570–578.
5. Ahmann L., Banning M., Lutz C. Modeling rebound effects and counteracting policies for German industries // Ecological Economics. 2022, vol. 197, 107432.
6. Barker T. et al. Decarbonizing the global economy with induced technological change: scenarios to 2100 using E3MG // The Energy Journal. 2006, vol. 27, no. 1, pp. 241–258.
7. Meckling J., Allan B.B. The evolution of ideas in global climate policy // Nature Climate Change. 2020, no. 10, pp. 434–438.
8. IRENA (2019). Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. <https://www.irena.org/DigitalArticles/2019/Apr/-/media/652AE07BBAAC407ABD1D45F6BBA8494B.ashx>
9. Ernst & Young (2014). Macro-economic impacts of the low carbon transition. https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2014/06/EY_ECF_Macro-economic-impacts-of-the-low-carbon-transition_Report_2014-06-05.pdf
10. IRENA (2020). Measuring the socio-economics of transition: Focus on jobs. <https://www.irena.org/Technical-Papers/Measuring-the-socio-economics-of-transition-Focus-on-jobs>
11. Ram M., Aghahosseini A., Breyer C. Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050 // Technological Forecasting and Social Change. 2020, vol. 151, 119682.
12. Башмаков И.А. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // Вопросы экономики. 2020. № 7. С. 51–74.
Bashmakov I.A. Russian low carbon development strategy // Voprosy Ekonomiki. 2020, no. 7, pp. 51–74. (In Russ.)
13. Башмаков И.А., Мышак А.Д. Затраты и выгоды реализации стратегий низкоуглеродного развития России: перспективы до 2050 года // Вопросы экономики. 2014. № 8. С. 70–91.
Bashmakov I.A., Myshak A.D. Costs and Benefits of the Transition to Low-carbon Economy in Russia: Perspectives up to 2050 // Voprosy Ekonomiki. 2014, no. 8, pp. 70–91. (In Russ.)
14. Макаров И.А., Музыченко Е.Э. О возможностях запуска регионального пилотного проекта по развитию низкоуглеродной экономики в Республике Татарстан // Георесурсы. 2021. № 3. С. 24–31.

- Makarov I.A., Muzychenko E.E.* On the possibilities of launching a regional pilot project for the development of a low-carbon economy in the Republic of Tatarstan // *Georesursy*. 2021, vol. 23, no. 3, pp. 24–31. (In Russ.)
14. *Малахов В.А., Несытых К.В.* Долгосрочные макроэкономические потери и выгоды России от низкоуглеродного развития мира и отечественной энергетики // *Проблемы прогнозирования*. 2022. № 4 (193). С. 55–67.
- Malakhov V.A., Nesytykh K.V.* Russia's Long-Term Macroeconomic Losses and Benefits from the Low-Carbon Development of the World and Domestic Energy Industry // *Studies on Russian Economic Development*. 2022, vol. 33, pp. 392–401.
15. *Макаров И.А., Чен Х., Пальцев С.В.* Последствия Парижского климатического соглашения для экономики России // *Вопросы экономики*. 2018. № 4. С. 76–94.
- Makarov I.A., Chen H., Paltsev S.V.* Impacts of Paris Agreement on Russian economy // *Voprosy Ekonomiki*. 2018, no. 4, pp. 76–94. (In Russ.)
16. *Makarov I., Chen H., Paltsev S.* Impacts of climate change policies worldwide on the Russian economy // *Climate Policy*. 2020, vol. 20, iss. 10, pp. 1242–1256.
17. *Алпысбаева С.Н., Шунеев Ш.Ж., Бакдолотов А.А. и др.* Прогноз долгосрочной траектории потенциального ВВП Казахстана в условиях глобального энергетического перехода // *Проблемы прогнозирования*. 2022. № 5 (194). С. 139–152.
- Alpysbaeva S.N., Shuneev Sh.Zh., Bakdolotov A.A. et al.* Forecast of the Long-Term Trajectory of the Potential GDP of Kazakhstan in the Context of the Global Energy Transition // *Studies on Russian Economic Development*. 2022, vol. 33, pp. 561–570.
18. *Jensen L.* Global Decarbonization in Fossil Fuel Export-Dependent Economies: Fiscal and Economic Transition Costs. UNDP. 2023. <https://www.undp.org/publications/dfs-global-decarbonization-fossil-fuel-export-dependent-economies>
19. *Жуков С.В., Копытин И.А., Масленников А.О., Синицын М.В.* Страны-нефтеэкспортёры: анализ возможностей экономического роста через диверсификацию экспорта в низкоуглеродном мире // *Проблемы прогнозирования*. 2023. № 5 (200). С. 18–31.
- Zhukov S.V., Kopytin I.A., Maslennikov A.O., Sinityn M.V.* Oil Exporting Countries: Analysis of Economic Growth Opportunities Through Export Diversification in a Low-Carbon World // *Studies on Russian Economic Development*. 2023, vol. 34, pp. 573–582.
20. *Жуков С.В., Копытин И.А., Масленников А.О.* Интеграция нефтяного и финансового рынков и сдвиги в ценообразовании на нефть // *Открытый семинар “Экономические проблемы энергетического комплекса”* (семинар А.С. Некрасова), заседание № 128 от 27 марта 2012 г. М.: ИИП РАН, 2012. <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/seminar/energo/z128.pdf>
- Zhukov S.V., Kopytin I.A., Maslennikov A.O.* Integration of oil and financial markets and shifts in oil pricing // *Open seminar “Economic problems of the energy complex”* (A.S. Nekrasov seminar), session no. 128, March 27, 2012. Moscow: Institute of Economic Forecasting, RAS, 2012. (In Russ.)
21. *Sarkodie S.A.* Winners and losers of energy sustainability – Global assessment of the Sustainable Development Goals // *Science of The Total Environment*. 2022, vol. 831, 154945.
22. *Moz-Christofoletti M.A., Pereda P.C.* Winners and losers: the distributional impacts of a carbon tax in Brazil // *Ecological Economics*. 2021, vol. 183, 106945.
23. *Nixon J., Hannon F.* Can the Clean Energy Transition Boost Global Growth? 2022. <https://www.oxfordeconomics.com/resource/winners-and-losers-from-clean-energy-transition/>
24. *Liu C., Zhou Z., Liu Q. et al.* Can a low-carbon development path achieve win-win development: evidence from China's low-carbon pilot policy // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2020, vol. 25, pp. 1199–1219.
25. *Горбачёва Н.В.* Действительная стоимость электроэнергии в Сибири: анализ выгод и издержек // *Экономический журнал Высшей школы экономики*. 2020. № 3. С. 340–371.
- Gorbacheva N.V.* True Value of Electricity in Siberia: Cost-Benefit Analysis // *HSE Economic Journal*. 2020, no. 3, pp. 340–371. (In Russ.)
26. *Бобылёв С.Н., Кирюшин П.А., Кошкина Н.Р.* Новые приоритеты для экономики и зелёное финансирование // *Экономическое возрождение России*. 2021. № 1 (67). С. 152–166.
- Bobylev S.N., Kiryushin P.A., Koshkina N.R.* New priorities for the economy and green finance // *Economic Revival of Russia*. 2021, no. 1, pp. 152–166. (In Russ.)
27. *Jakob M., Lamb W.F., Steckel J.C. et al.* Understanding different perspectives on economic growth and climate policy // *WIREs Climate Change*. 2020, vol. 11, iss. 6. e677.
28. *NGFS Scenarios for central banks and supervisors*. 2023. https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_climate_scenarios_for_central_banks_and_supervisors_phase_iv.pdf
29. *Karlsson M., Alfredsson E., Westling N.* Climate policy co-benefits: a review // *Climate Policy*. 2020, vol. 20, iss. 3, pp. 292–316.
30. *Choi C., Berry P., Smith A.* The climate benefits, co-benefits, and trade-offs of green infrastructure: A systematic literature review // *Journal of Environmental Management*. 2021, vol. 291, 112583.
31. *Hänsel M.C., Drupp M.A., Johansson D.J.A. et al.* Climate economics support for the UN climate targets // *Nature Climate Change*. 2020, no. 10, pp. 781–789.

32. Glanemann N., Willner S.N., Levermann A. Paris Climate Agreement passes the cost-benefit test // Nature Communications. 2020, no. 11, article 110.
33. Paroussos L., Mandel A., Fragkiadakis K. et al. Climate clubs and the macro-economic benefits of international cooperation on climate policy // Nature Climate Change. 2019, no. 9, pp. 542–546.
34. Hache E., Seck G.S., Simoën M., Carcanague S. Who's winning the low-carbon innovation race? An assessment of countries' leadership in renewable energy technologies // International Economics. 2019, vol. 160, pp. 31–42.
35. Саянова А.Р., Широв А.А. Основы метода “затраты–выпуск”. Учебник. М.: МАКС-Пресс, 2019.
Sayanova A.R., Shirov A.A. Fundamentals of the input-output method. Textbook. Moscow: MAKSPress, 2019. (In Russ.)
36. Veselov F., Pankrushina T., Khorshev A. Comparative economic analysis of technological priorities for low-carbon transformation of electric power industry in Russia and the EU // Energy Policy. 2021, vol. 156, 112409.
37. IPCC, 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge–N.Y.: Cambridge University Press, 2022.
38. Solarin S.A. The effects of shale oil production, capital and labour on economic growth in the United States: A maximum likelihood analysis of the resource curse hypothesis // Resources Policy. 2020, vol. 68, 101799.
39. Solarin S.A., Gil-Alana L.A., Lafuente C. An investigation of long range reliance on shale oil and shale gas production in the U.S. market // Energy. 2020, vol. 195, 116933.

BENEFICIARIES OF THE LOW-CARBON AGENDA: ECONOMIC ANALYSIS

A.A. Shirov^{a,*}, A.Yu. Kolpakov^{a,**}, M.S. Gusev^{a,***}

^aThe Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: schir@ecfor.ru*

***E-mail: kolpakov@ecfor.ru*

****E-mail: m.gusef@mail.ru*

The article studies the impact of intensive decarbonization on the economic dynamics of large GHGs emitting countries based on a unified methodological approach and complex modeling tools. The most important factors determining the economic efficiency of decarbonization policies are the level of economic development, the sectoral and technological structure of the economy, and dependence on energy imports. For several developing countries, ambitious decarbonization scenarios imply quite serious losses in GDP. The beneficiaries of the low-carbon agenda are the EU and China, where the rise in prices necessary to recoup decarbonization costs is offset by a reduction in hydrocarbon imports and an increase in revenues in industries shaping the low-carbon economy. Russia is characterized by medium sensitivity to ambitious decarbonization. Russia's competitive advantages lie in the significant potential for relatively inexpensive measures and a high share of low-carbon sources of electricity generation.

Keywords: socio-economic development, low-carbon policy, greenhouse gases, emissions, energy, scenarios, input-output.