

---

## ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

УДК 339.97+502(1-6 БРИКС)(045)  
DOI 10.31249/espr/2025.01.06

**А.Е. Сарычев, И.А. Стоянова\***

### **ПРОБЛЕМЫ ОТКАЗА ОТ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ МИРОВОГО ЭНЕРГОПЕРЕХОДА**

**Аннотация.** В настоящее время доминирующим трендом в рамках глобального энергоперехода является замена в структуре энергогенерации ископаемых источников энергии, прежде всего угля, на возобновляемые источники энергии. Однако отказ от угля происходит медленнее, чем предполагало Международное энергетическое агентство, что является следствием комплекса проблем зеленой энергетики. Технологические ограничения солнечной и ветровой энергогенерации, высокие затраты на развитие этого сектора и нестабильность систем производства электроэнергии на данной основе не позволяют большинству стран найти баланс между целями экономического развития и реализацией энергоперехода. Для достижения показателей сокращения выбросов парниковых газов более эффективным представляется комплексный подход по снижению углеродного следа на всех этапах угольной энергетики от добычи угля до его потребления. Такой подход позволяет осуществить более плавный энергопереход, а также учесть цели экономического развития.

**Ключевые слова:** энергогенерация; возобновляемые источники энергии; энергопереход.

---

\* **Сарычев Александр Евгеньевич**, канд. экон. наук, и. о. заведующего кафедрой мировых сырьевых рынков МИЭП МГИМО МИД России (Москва, Россия); asarychev@yandex.ru

**Sarychev Alexander Ye.**, PhD (Econ. Sci.), Head of World Resource Markets Department, MGIMO University (Moscow, Russian Federation); asarychev@yandex.ru

**Стоянова Инна Анатольевна**, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры про-мышленного менеджмента «Национальный исследовательский технологический универси-тет «МИСИС»»; stoyanova.ia@misis.ru

**Stoyanova Inna A.**, DSc in Econ. Sci., Associate Professor, Professor of the Department of Industrial Management of the National University of Science and Technology «MISIS»; stoyanova.ia@misis.ru

**Для цитирования:** Сарычев А.Е., Стоянова И.А. Проблемы отказа от угля в условиях мирового энергоперехода // Экономические и социальные проблемы России. – 2025. – № 1. – С. 93–104.

**A.E. Sarychev, I.A. Stoyanova**

### **Challenges of coal abandonment during world energy transition**

**Abstract.** Currently, the dominant trend in the global energy transition is the replacement of fossil energy sources, primarily coal, with renewable energy sources in the energy generation structure. However, the abandonment of coal is happening more slowly than the International Energy Agency assumed, which is a consequence of a set of problems with green energy. Technological limitations of solar and wind energy generation, high costs of developing this sector and the instability of electricity generation systems on this basis do not allow most countries to find a balance between economic development goals and the implementation of the energy transition. To achieve greenhouse gas emission reduction targets, a comprehensive approach to reducing the carbon footprint at all stages of coal energy from coal mining to its consumption seems more effective. This approach allows for a smoother energy transition, as well as taking into account economic development goals.

**Keywords:** power generation; coal power; renewable energy sources; energy transition.

**For citation:** Sarychev A.E., Stoyanova I.A. Challenges of coal abandonment during world energy transition // Economic and Social Problems of Russia. – 2025. – N 1. – P. 93–104.

### **Введение**

Наблюдаемый в данный момент глобальный энергопереход, состоящий в активном развитии зеленой энергетики и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в частности, стал следствием реализации принятой почти всеми государствами и международными организациями цели снижения выбросов парниковых газов (для сокращения антропогенного воздействия на окружающую среду и ограничению глобального потепления). В качестве главного целевого показателя, принятого 194 странами мира, рассматривается удержание роста среднегодовой температуры в мире на уровне 1,5–2,0°C до 2100 г. [Paris Agreement, 2015].

В рамках поставленных задач главным направлением сокращения выбросов парниковых газов, прежде всего углекислого газа (CO<sub>2</sub>), стал отказ от ископаемых источников энергии и их замена на ВИЭ [Сланцевая революция, 2019]. Причем наибольшей критике подверглось использование такого энергоносителя, как уголь, признанного главным источником выбросов CO<sub>2</sub>. По различным оценкам, в расчете на единицу произведенной электроэнергии уголь выделяет в 1,5–2 раза (в соответствии со стандартными

технологиями электроэнергетики) больше углекислого газа, чем, например, природный газ [Ritchie, 2020]. По расчетам Международного энергетического агентства (МЭА), в 2023 г. на уголь приходилось 42% всех выбросов  $\text{CO}_2$  в мире [World Energy Outlook, 2024]. В связи с этим многие страны заявляют о намерении полного отказа от использования угля в энергогенерации или значительном сокращении его потребления [Ritchie, Rosado, 2024], а крупные международные банки под давлением общественности отказываются от финансирования угледобычи и угольной энергетики.

В то же время уголь остается главным источником энергогенерации в мире, обеспечивая производство 36% мировой электроэнергии. При этом рост потребления угля продолжается – по данным МЭА, в 2023 г. оно достигло в мире рекордного уровня в 8,5 млрд т [Coal 2023, 2023]. Среди крупных стран – потребителей угля стабильное снижение его потребления за последние 10 лет наблюдается только в США (–57%), ЕС (–48%), Японии (–15%) и России (–9%). В этих странах происходит замена угля более дешевым природным и сланцевым газом, а в Японии постепенно возвращаются в работу энергоблоки АЭС, остановленные после аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г.

Крупнейшие потребители угля в мире только увеличивают его потребление – за 10 лет потребление угля в Китае (55% мирового потребления) выросло на 17%, в Индии (15% мирового потребления) – на 56%. При этом обе страны заявляют о стратегической цели углеродной нейтральности к 2060 г. и 2070 г. соответственно, активно увеличивая долю ВИЭ в энергобалансе.

Отсутствие активного снижения потребления угля в мире является следствием целого комплекса причин, затрагивающих как экономические и технологические проблемы ВИЭ, необходимость обеспечения энергетической безопасности и экономического роста стран, так и сам концептуальный подход по достижению углеродной нейтральности за счет прямого отказа от угля.

### **Проблемы ВИЭ, ограничивающие отказ от угля**

Замена угольной энергогенерации на ВИЭ, на первый взгляд, является самым простым способом снижения выбросов углекислого газа. Однако современные технологии ВИЭ не позволяют реализовать их полное и повсеместное внедрение.

**Технологические ограничения ВИЭ.** С момента активного распространения ВИЭ ежегодно фиксировалось снижение стоимости генерации электроэнергии солнечными (СЭС) и ветровыми электростанциями (ВЭС) за счет совершенствования технологий и, соответственно, повышения их эффективности. Однако современные технологии ВИЭ уже крайне близки к максимальному использованию своего потенциала (стоит отметить, что полный физический потенциал в промышленности практически не дости-

жим). Физический потенциал трансформации фотонов в электроны в солнечных панелях использован уже на 75%, физический лимит улавливания кинетической энергии воздуха – на 67% [Mills, 2019]. Таким образом, дальнейшего существенного технологического снижения стоимости энергогенерации с помощью ВИЭ не ожидается.

Главным технологическим недостатком ВИЭ, обусловленным самой их природой, является невозможность поддержания постоянной и равномерной выработки – СЭС не производят электроэнергию в темное время суток, ограничены в производстве в пасмурные дни и во время снегопадов, а ВЭС эффективно производят электроэнергию только при достаточной силе ветра. Следствием данного факта служит необходимость сохранения части выработанной электроэнергии и ее передача в сеть в периоды низкой выработки.

Наиболее простым и очевидным инструментом сохранения энергии от использования ВИЭ и обеспечения бесперебойного снабжения электроэнергией потребителей являются промышленные аккумуляторные батареи. Однако мощность существующих батарей составляет около 89 ГВт [World Energy Outlook, 2024], что соответствует всего 3% мировой мощности солнечной и ветровой генерации. При этом эффективное время работы солнечных и ветровых электростанций по различным подсчетам составляет около 50% в течение года, а значит, мощности СЭС и ВЭС фактически должны быть обеспечены аналогичной мощностью батарей.

Причиной недостатка промышленных аккумуляторных батарей в секторе ВИЭ является их достаточно высокая текущая стоимость, несмотря на рекордно низкий уровень цены, достигнутый в 2023 г. – 139 долл. за кВт•ч. В настоящее время добавление компонента промышленных аккумуляторных батарей в проекты нового строительства в секторе ВИЭ существенно увеличивают стоимость производимой электроэнергии и делают подавляющее большинство данных проектов неконкурентоспособными.

В отдельных случаях генерация на основе ВИЭ с обеспечением хранения произведенной энергии оценивается как более конкурентоспособная по сравнению с традиционной энергетикой. Например, расчет нормированной стоимости электроэнергии (LCOE) для новых проектов в Германии показывает, что данный показатель для угольных электростанций составляет 17–19 евроцентов за кВт•ч, а для крупных наземных СЭС с обеспечением аккумуляторными батареями на 2/3 мощности – 6–11 евроцентов за кВт•ч [Levelized Cost of ... , 2024]. Однако данное преимущество ВИЭ достигнуто не за счет низкой стоимости и высокой эффективности технологий ВИЭ и аккумуляторных батарей, а в результате введения налога на выбросы CO<sub>2</sub> для угольных электростанций в размере 15 евроцентов за кВт•ч. в среднем на весь период действия ТЭС.

По расчетам МЭА, при самом позитивном сценарии развития событий (Net Zero Emissions by 2050 Scenario) мощности промышленных

аккумуляторных батарей вырастут к 2050 г. в 62 раза, так как их стоимость снизится. Но даже при таком росте будет обеспечено лишь 19% мощностей ветровой и солнечной генерации. В то же время, сама возможность подобного роста мощностей промышленных аккумуляторов и возможность снижения их стоимости ставится под сомнение многими исследователями и практиками ввиду отсутствия прорывных технологических инноваций в сфере классических аккумуляторов, прежде всего наиболее востребованных литиевых, а также значительного прогнозного роста спроса на отдельные металлы в ходе энергоперехода. Так, по оценке МЭА, только в секторе ВИЭ к 2030 г. ожидается двукратный рост спроса на медь и кремний, 4-кратный – на редкоземельные металлы, 7–8-кратный на литий [Net Zero Roadmap ... , 2023].

**Экономические последствия ограничений ВИЭ.** Имеющиеся сегодня ограничения ВИЭ не позволяют им эффективно конкурировать с традиционной энергогенерацией на открытом рынке, что вынуждает правительства стран вводить дискриминационные меры в отношении топливной энергетики и предоставлять льготы и преференции для зеленой энергогенерации. Прежде всего, главным инструментом в данной сфере является повышение налогов на выбросы парниковых газов, что ухудшает экономическую эффективность традиционной энергетики, позволяя ВИЭ быть конкурентоспособными на рынках соответствующих стран.

В соответствии с базовыми сценариями МЭА, являющимися не прогнозом, а предлагаемым вариантом действия для государств с целью достижения целей Парижского соглашения по ограничению роста среднемировой температуры, все страны должны многократно повысить стоимость выбросов углекислого газа (табл. 1).

Заявленный рост стоимости выбросов является крайне чувствительным по сравнению с текущим уровнем, как для развитых стран, так и для развивающихся.

В данный момент в значительных объемах торговля квотами на выброс  $\text{CO}_2$  осуществляется только в ЕС и Китае. Около половины выбросов  $\text{CO}_2$  этих стран вовлечено в системы торговли выбросами (ETS), которые должны увеличить стоимость выбросов углекислого газа к 2030 г., соответственно, в 2 раза (с текущего уровня в 65 долл. за тонну в октябре 2024 г.) и 3–6 раз (с текущего уровня в 15 долл. за тонну в октябре 2024 г.). Большинство стран мира при этом вообще пока не имеют рынков торговли квотами на выбросы или реализуют данные проекты в ограниченных масштабах (в РФ реализуется соответствующий эксперимент на Сахалине). Налоги на выбросы углекислого газа во многих странах являются символическими или отсутствуют.

Рост стоимости выбросов углекислого газа приводит к общему повышению стоимости электроэнергии в стране за счет увеличения себестоимости традиционной энергогенерации и росту доли более дорогих ВИЭ. Данная корреляция прослеживается на опыте стран ЕС, являющихся пере-

Таблица 1

**Стоимость выбросов углекислого газа в соответствии со сценариями МЭА (долл. США за тонну CO<sub>2</sub>)\***

Сценарий МЭА	Страны	2030	2035	2040	2050
Сценарий объявленных правительствами обязательств (Announced Pledges Scenario)	Развитые экономики	135	160	175	200
	Развивающиеся экономики (в том числе Китай, Индия и др.)	40	65	110	160
Сценарий нулевых выбросов (Net Zero Emissions by 2050 Scenario)	Развитые экономики	140	180	205	250
	Развивающиеся экономики (в том числе Китай, Индия и др.)	90	125	160	200

\*Источник: составлено авторами по: [Global Energy and Climate Model, 2024].

довыми в части углеродного регулирования и развития ВИЭ – чем больше доля ВИЭ в энергетике страны, тем выше средняя стоимость электроэнергии для потребителей [Mills, 2019].

Для развитых стран дальнейшее повышение стоимости выбросов углекислого газа и, соответственно, стоимости электроэнергии представляется относительно приемлемым способом энергоперехода к зеленой энергетике. Для развивающихся стран данный вопрос стоит более остро – рост стоимости электроэнергии может нанести существенный ущерб конкурентоспособности местной промышленности и благосостоянию граждан. Поэтому далеко не все правительства согласятся пойти данным путем, и замена угля на ВИЭ в данных странах будет ограниченной.

Экономическим препятствием замены угля на ВИЭ служит также сумма необходимых инвестиций в зеленую энергетику. Для достижения заявленных целей Парижского соглашения (по сценарию Net Zero Emissions by 2050 Scenario) страны с развитой экономикой и Китай должны увеличить ежегодные инвестиции в зеленую энергетику в 2 раза к 2035 г., а прочие развивающиеся страны – в 6,5 раз [World Energy Outlook, 2024]. Для многих развивающихся стран подобное увеличение необходимых инвестиций является труднодостижимым.

Таким образом, во многих развивающихся странах замена угля на ВИЭ будет сдерживаться экономической целесообразностью собственного развития – сохранения низкой стоимости электроэнергии в ущерб целям устойчивого развития. Данный тренд подтверждают выводы подготовленного по заказу ООН отчета группы специалистов из мировых аналитиче-



ских фирм и институтов ООН, в соответствии с которым суммированные правительственные планы и прогнозы предполагают рост мировой добычи угля как минимум до 2030 г., а добыча нефти и газа – до 2050 г. [The Production Gap ... , 2023].

### **Нестабильность предлагаемой модели энергоперехода**

В случае преодоления имеющихся трудностей по замене ископаемого топлива ВИЭ (в том числе за счет повышения стоимости выбросов углекислого газа во всех странах мира) предполагается, что общие мощности генерации на ВИЭ вырастут в 9–10 раз к 2050 г. в зависимости от сценария развития. Классическая угольная энергогенерация при этом сократится на 65–91%, а с учетом мощностей с геологическим захоронением и использованием эмиссий углерода (CCUS), считающихся экологически чистыми, – на 59–84%. Сценарии МЭА также предполагают активное развитие электрогенерации на основе водорода и аммиака, несмотря на имеющуюся критику данного вида энергетики. Расчеты показывают, что прямые выбросы углекислого газа при использовании водорода существенно ниже, чем у угольной и газовой энергетики. Однако с учетом стадии переработки метана, необходимого для производства «серого» водорода (90% в общей структуре производства), общие выбросы парниковых газов выше, чем у угольных и газовых ТЭС [Howarth, Jacobson, 2021].

Как было указано выше, прогнозируемого роста мощностей промышленных аккумуляторных батарей недостаточно для полного обеспечения бесперебойной работы ВЭС и СЭС (17–19% обеспечения мощностей в 2050 г. в зависимости от сценария). Даже если все имеющиеся в наличии мощности будут направлены на дублирование мощностей СЭС и ВЭС при относительно умеренном сценарии развития, предлагаемом МЭА, – сценарии объявленных правительствами обязательств (Announced Pledges Scenario) – уже к 2030 г. 6% мировых мощностей ВИЭ не будут обеспечены аккумуляторными батареями, а к 2050 г. данный показатель вырастет до 44%. Для компенсации низких периодов работы ветровой и солнечной энергетики придется задействовать все прочие доступные источники энергогенерации, иначе существующая система энергообеспечения будет нестабильна и не сможет обеспечить непрерывный доступ к электроэнергии (табл. 2).

Таким образом, предлагаемая МЭА модель энергоперехода является нежизнеспособной, так как почти половина энергомощностей на основе ВИЭ к 2050 г. будет поставлять электроэнергию только в период активной работы. В случае реализации сценария нулевых выбросов (Net Zero Emissions by 2050 Scenario) данный процент будет еще выше [Иванов, Сарычев, Стоянова, 2023]. Учитывая, что основной прогнозируемый рост ВИЭ придется на солнечную энергетику, фактически в ночное время и в периоды непогоды поставки электроэнергии будут отсутствовать или крайне ограничены.

Таблица 2

**Мощности электрогенерации по технологиям  
и источникам в соответствии со сценарием  
МЭА «Announced Pledges Scenario», ГВт\***

Мощности, ГВт	2023	2030	2040	2050
<b>ВСЕГО</b>	<b>9327</b>	<b>15940</b>	<b>26472</b>	<b>33198</b>
<b>ВИЭ, требующие дублирования/ накопления</b>	<b>2625</b>	<b>8954</b>	<b>19288</b>	<b>26091</b>
Солнце	1610	6544	14801	20059
Ветер	1015	2410	4487	6032
<b>Чистые технологии, не требующие дублирования</b>	<b>2038</b>	<b>2508</b>	<b>3741</b>	<b>4595</b>
АЭС	416	508	748	874
ГЭС	1411	1626	1945	2200
Прочие ВИЭ	211	339	733	1065
Водород и аммиак	0	29	202	273
Уголь и газ с захоронением углерода	0	6	113	183
<b>Ископаемое топливо</b>	<b>4664</b>	<b>4478</b>	<b>3443</b>	<b>2512</b>
Уголь	2243	2119	1490	782
Газ	2007	2078	1759	1613
Нефтепродукты	414	281	194	117
Промышленные аккумуляторные батареи	89	1015	2939	4386
<b>ВИЭ, не обеспеченные дублирующими мощностями и аккумуляторными батареями</b>		<b>953</b>	<b>9165</b>	<b>14598</b>
<b>– доля от общих мощностей электрогенерации</b>		<b>6%</b>	<b>35%</b>	<b>44%</b>

\* Источник: составлено авторами по [World Energy Outlook, 2024].

**Опыт Китая по преодолению карбоновой зависимости**

В настоящее время Китай одновременно является мировым лидером по добыче и потреблению угля (около 50% мирового потребления) и по ежегодному вводу мощностей на основе ВИЭ (60% новых мировых мощностей в 2023 г.). Руководство Китая осознает все имеющиеся проблемы, поэтому фиксирует, что процесс энергоперехода в стране будет основан на балансе экономического развития и защиты окружающей среды [China's Energy Transition, 2024].

В сфере добычи угля предполагается не отказ от его добычи, а, наоборот, развитие инфраструктуры с сочетанием «ветер-солнце-уголь» для



эффективного обеспечения энергией в периоды пикового спроса и, одновременно, снижения углеродного следа при добыче угля. Также активно происходит внедрение «умных шахт» (smart coal mines). Фактически, речь идет о цифровизации угледобычи, что позволяет повысить экономическую эффективность работы предприятий [Сарычев, Семенихин, 2023; Сарычев, Семенихин, Филатова, 2024] и их адаптационные способности [Повышение роли динамических способностей ... , 2024], а также снизить выбросы парниковых газов. В сфере угольной генерации работы по совершенствованию технологий с целью снижения загрязнения ведутся в Китае уже больше 10 лет. Прежде всего – в направлении совершенствования технологий суперкритических и ультра-суперкритических параметров пара (являющихся в данный момент основными в мире в целом – на них приходится 96% мощностей в общем объеме строящихся угольных ТЭС) [Global Coal Plant Tracker, 2024].

К концу 2023 г. 95% мощностей китайской угольной энергогенерации достигли низкого уровня выбросов за счет снижения объема потребления угля до 303 грамм на 1 кВт•час в среднем (на отдельных предприятиях данный показатель сокращен до 256 грамм на 1 кВт•час [Energy in China's New Era, 2020]), а также внедрения дополнительных технологий для снижения выбросов. В соответствии с дальнейшим планом по трансформации угольной энергетики, с 2025 г. разрешения на строительство новых угольных ТЭС будут выдаваться только проектам, имеющим удельные выбросы углекислого газа на 20% меньше по сравнению со среднеотраслевыми показателями по соответствующим предприятиям за 2023 г. С 2027 г. требование будет усилено до 50% выбросов к уровню 2023 г., что сопоставимо с выбросами углекислого газа угольными ТЭС [Action Plan for Low-Carbon ... , 2024].

Китай работает также над повышением эффективности технологий геологического захоронения и использования эмиссий углерода (CCUS) на угольных ТЭС. В стране действует несколько предприятий, занимающихся этим видом деятельности, крупнейшее из которых принадлежит компании CHN Energy и имеет мощность в 500 тыс. т CO<sub>2</sub> в год [Asia's Largest Coal-fired ... , 2023]. Перспективным направлением служит внедрение «умных» сетей энергоснабжения (smart grid), позволяющее оптимизировать подачу электроэнергии потребителям, снизить потери энергопередачи и тем самым общего уровня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Китай также является лидером в сфере развития альтернативных способов хранения энергии с целью обеспечения бесперебойной генерации на основе ВИЭ. Среди наиболее распространенных способов в данной сфере – создание гидроаккумулирующих электростанций (pumped hydro storage (PHS)), работающих в комплексе с солнечными и ветровыми мощностями. В 2023 г. в стране действовало 50 ГВт мощностей PHS, еще около 180 МВт находилось в стадии строительства [Meeting Power System ... , 2024]. Кроме того, в промышленной эксплуатации находятся экспериментальные

установки по хранению на основе энергии сжатого воздуха (compressed air energy storage), энергии маховика (flywheel energy storage), энергии гравитации (gravity energy storage), а также аккумулирующих батарей альтернативных технологий – проточных и натриевых (flow batteries and sodium-ion batteries). Данные направления способны существенно расширить потенциал использования ВИЭ в будущем.

Таким образом, комплексный подход по снижению выбросов и повышению энергоэффективности всех стадий угольной промышленности и энергетики (от добычи до потребления) позволяет сохранить угольную энергогенерацию в долгосрочной перспективе, а также обеспечить более плавный энергопереход и достижение целей Парижского соглашения с учетом национальных целей экономического развития.

### **Заключение**

Вероятность эффективной реализации доминирующего в данный момент подхода к энергопереходу, состоящего в активной замене ископаемого топлива, прежде всего, угля на ВИЭ является низкой ввиду описанных выше технологических и экономических проблем. Большинство стран не будут отказываться от классической электроэнергетики, в том числе угольной, если это несет риски существенного ухудшения экономического положения и нестабильности работы энергосистемы в целом.

Для достижения целей Парижского соглашения требуется пересмотр концептуального подхода по достижению углеродной нейтральности и переход от прямого отказа от угля к экологической оптимизации работы угольных предприятий и угольных ТЭС. Хотя для реализации такого подхода помимо развития ВИЭ понадобится комплексная модернизация добывающих, потребляющих и передающих мощностей угольной энергетики. Однако это позволит совместить имеющиеся у государств экологические цели и задачи экономического развития.

### **Список литературы**

1. Иванов Н.А., Сарычев А.Е., Стоянова И.А. Роль угля в мировом энергопереходе // Горная промышленность. – 2023. – № 4. – С. 102–108.
2. Повышение роли динамических способностей угольных компаний в условиях резких ценовых колебаний на международных рынках / Сарычев А.Е., Мясков А.В., Стоянова И.А., Иванов Н.А. // Экономика промышленности. – 2024. – № 17(2). – С. 128–137.
3. Сарычев А.Е., Семенихин Д.Е., Филатова С.К. Проблемы внедрения технологий Индустрии 4.0 горнодобывающими предприятиями России // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 3, № 7. – С. 44–52.
4. Сарычев А.Е., Семенихин Д.Е. Инновационные тренды развития мировой горнодобывающей отрасли: цифровизация управленческих и операционных процессов // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 8. – С. 2897–2908.

5. Сланцевая революция и глобальный энергетический переход / Иванов Н.А. (ред.). – Москва; Санкт-Петербург: Нестор-История, 2019. – 540 с.
6. Action Plan for Low-Carbon Transformation of Coal-fired Power (2024–2027) № 894 // Development and Reform Commission Environmental Protection Administration. – China: Fagaihuanzi, 2024. – 15.07. – URL: [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202407/t20240715\\_1391663.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202407/t20240715_1391663.html) (дата обращения 09.12.2024).
7. Asia's Largest Coal-fired Power CCUS Project Successfully Produced Liquid Carbon Dioxide // CHN Energy. – 2023. – 05.06. – URL: <https://www.ceic.com/ginyjtwEn/xwzx/202306/b14014c59e7748d9a4f570ebb850429f.shtml> (дата обращения 09.12.2024).
8. China's Energy Transition. The State Council Information Office of the People's Republic of China. First Edition. – Beijing, China: Foreign Languages Press Co. Ltd, 2024. – URL: [http://english.scio.gov.cn/node\\_9013096.html](http://english.scio.gov.cn/node_9013096.html) (дата обращения 09.12.2024).
9. Coal 2023. Analysis and forecast to 2026 // International Energy Agency. – 2023. – URL: <https://www.iea.org/reports/coal-2023/> (дата обращения 09.12.2024).
10. Energy in China's New Era // Ministry of Ecology and Environment the People's Republic of China. – 2020. – 22.12. – URL: [https://english.mee.gov.cn/Resources/publications/Whitep/202012/t20201222\\_814160.shtml](https://english.mee.gov.cn/Resources/publications/Whitep/202012/t20201222_814160.shtml) (дата обращения 09.12.2024).
11. Global Coal Plant Tracker // Global Energy Monitor. – 2024. – URL: <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-plant-tracker/> (дата обращения 09.12.2024).
12. Global Energy and Climate Model. Documentation – 2024 // International Energy Agency. – 2024. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model> (дата обращения 09.12.2024).
13. Howarth R. W., Jacobson M. Z. How green is blue hydrogen? // Energy Science & Engineering. – 2021. – P. 1–12. – URL: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.956> (дата обращения 09.12.2024).
14. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies / Kost C., Muller P., Schweiger J.S., Fluri V., Thomsen J. // Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. – 2024. – URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/cost-of-electricity.html> (дата обращения 09.12.2024).
15. Meeting Power System Flexibility Needs in China by 2030. A market-based policy toolkit for the 15 th Five-Year Plan // International Energy Agency. – 2024. – URL: <https://www.iea.org/reports/meeting-power-system-flexibility-needs-in-china-by-2030> (дата обращения 09.12.2024).
16. Mills M.P. The “New Energy Economy”: An Exercise in Magical Thinking. // Manhattan Institute. – 2019. – 26.03. – URL: <https://www.manhattan-institute.org/green-energy-revolution-near-impossible> (дата обращения 09.12.2024).
17. Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1,5°C Goal in Reach // International Energy Agency. – 2023. – URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach> (дата обращения 09.12.2024).
18. Paris Agreement // United Nations. – 2015. – URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/paris-agreement> (дата обращения 09.12.2024).
19. Ritchie H. What are the safest and cleanest sources of energy? // Our World in Data. – 2020. – 10.02. – URL: <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy> (дата обращения 09.12.2024).

20. Ritchie H., Rosado P. Fossil fuels // Our World in Data. – 2024. – URL: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels> (дата обращения 09.12.2024).
21. The Production Gap: Phasing down or phasing up? Top fossil fuel producers plan even more extraction despite climate promises / Stockholm Environment Institute, Climate Analytics, E3 G, International Institute for Sustainable Development and United Nations Environment Programme. – 2023. – URL: <https://productiongap.org/2023report/> (дата обращения 09.12.2024).
22. World Energy Outlook 2024 // International Energy Agency. – 2024. – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (дата обращения 09.12.2024).

*Статья получена: 02.12.2024*

*Одобрена к публикации: 21.12.2024*