

УДК 338.4
<http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-3-256-269>

Отраслевые решения по развитию низкоуглеродных технологий и достижению углеродной нейтральности

Дмитрий Николаевич Ершов

Научно-исследовательский финансовый институт Минфина России, Москва, Россия, ershov@nifi.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7624-4648>

Аннотация

Цель. Проанализировать российский и международный опыт в области разработки мер по снижению негативного воздействия климатических изменений и адаптации к ним, изучить влияние некоторых регуляторных механизмов на бизнес отечественных производственных компаний.

Задачи. Рассмотреть опыт ряда российских компаний (на примере черной металлургии и целлюлозно-бумажной отрасли) по внедрению инновационных технологий декарбонизации; оценить перспективы их использования для достижения декарбонизации.

Методология. Исследование проведено на основе анализа российской и зарубежной научной литературы, сведений, полученных из открытых источников, а также аналитических материалов и статистических данных международных организаций. Объектами исследования стали подходы к решению задачи декарбонизации и достижения углеродной нейтральности.

Результаты. В контексте мер по противодействию глобальным процессам изменения климата и Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. рассмотрены пути достижения углеродной нейтральности в двух отраслях, являющихся крупными загрязнителями окружающей среды. Среди них — черная металлургия и целлюлозно-бумажная промышленность. Охарактеризованы перспективы инерционного пути достижения декарбонизации и инновационные варианты стратегического развития низкоуглеродных технологий. Показаны перспективы более широкого внедрения технологий прямого восстановления в черной металлургии. Относительно целлюлозно-бумажной отрасли выявлены возможности разработки технологий производства наноцеллюлозы на основе использования производственных отходов.

Выводы. В черной металлургии с точки зрения ответа на климатические вызовы и достижения оптимального экономического эффекта стратегически наиболее обоснованным представляется выбор в пользу инновационного пути структурных отраслевых преобразований в направлении декарбонизации и достижения углеродной нейтральности на основе снижения углеродоемкости производства за счет методов улавливания, использования и хранения двуокиси углерода и технологии прямого восстановления железа на основе водорода. Вывод соответствует принятой в 2022 г. Стратегии развития металлургической промышленности, которая ориентирует отрасль на развитие и внедрение инновационных низкоуглеродных технологий. В целлюлозно-бумажной отрасли перспективным представляется проведение дальнейших исследований в целях получения инновационных технологий производства наноцеллюлозы.

Ключевые слова: глобальные климатические вызовы и риски, углеродная нейтральность, декарбонизация черной металлургии, инновационные низкоуглеродные технологии, Стратегия развития металлургии

Для цитирования: Ершов Д. Н. Отраслевые решения по развитию низкоуглеродных технологий и достижению углеродной нейтральности // *Экономика и управление*. 2023. Т. 29. № 3. С. 256–269. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-3-256-269>

© Ершов Д. Н., 2023

Industrial solutions for developing low-carbon technologies and achieving carbon neutrality

Dmitriy N. Ershov

Scientific Research Institute of the Ministry of Finance of the Russian Federation, Moscow, Russia, ershov@nifi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7624-4648>

Abstract

Aim. The presented study aims to analyze Russian and international experience in the development of measures aimed at reducing the negative impact of climate change and adapting to it; to examine the impact of certain regulatory mechanisms on the business of domestic manufacturing companies.

Tasks. The authors investigate the experience of several Russian companies (through the example of ferrous metallurgy and the pulp and paper industry) in the introduction of innovative decarbonization technologies; assess the prospects for their use to achieve decarbonization.

Methods. This study analyzes Russian and foreign scientific literature, information from open sources, analytical materials and statistics of international organizations. The subject of the study is the approaches to solving the problem of decarbonization and achieving carbon neutrality.

Results. The ways to achieve carbon neutrality in ferrous metallurgy and the pulp and paper industry — the two industries that are major environmental pollutants — are considered in the context of measures aimed at combating the global processes of climate change and Russia's strategy of socio-economic development with low greenhouse gas emissions until 2050. The prospects of an inertial way of achieving decarbonization and innovative options for the strategic development of low-carbon technologies are described. The prospects of a wider introduction of direct recovery technology in ferrous metallurgy are shown. In the pulp and paper industry, the possibilities of developing technologies for the production of nanocellulose based on the use of industrial waste are identified.

Conclusions. From the perspective of responding to climate challenges and achieving the optimal economic effect in ferrous metallurgy, the most strategically justified choice seems to be in favor of an innovative way of structural sectoral transformations aimed towards decarbonization and achieving carbon neutrality by reducing the carbon intensity of production through methods of carbon dioxide capture, use, and storage, and direct reduction of iron based on hydrogen. This conclusion corresponds to the strategy for the development of metallurgy adopted in 2022, which orients the industry toward the development and implementation of innovative low-carbon technologies. In the pulp and paper industry, it seems promising to conduct further research to obtain innovative technologies for the production of nanocellulose.

Keywords: *global climate challenges and risks, carbon neutrality, decarbonization of ferrous metallurgy, innovative low-carbon technologies, metallurgy development strategy*

For citation: Ershov D.N. Industrial solutions for developing low-carbon technologies and achieving carbon neutrality. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2023;29(3):256-269. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-3-256-269>

Введение

Ввиду обостряющихся проблем и возрастающих рисков в области климатических изменений особое внимание привлекают отрасли промышленности, оказывающие высокое негативное воздействие на окружающую среду и климат, требующие принятия первоочередных мер по декарбонизации. Отвечая на глобальные климатические вызовы и риски, многие страны приняли или планируют принять концептуальные документы, содержащие стратегические подходы

к структурной перестройке экономики с целью достижения углеродной нейтральности.

В статье проанализированы некоторые аспекты международного и российского опыта поиска путей эффективного углеродного регулирования в контексте развития низкоуглеродных технологий. На примере двух отраслей — черной металлургии и целлюлозно-бумажной промышленности — рассмотрены возможности и перспективы решения задачи декарбонизации на базе инновационных технологических решений в соответствующих отраслях. Сделан вывод

о целесообразности выбора инновационных путей развития по сравнению с инерционными. Такой путь дает возможность рассчитывать на успешное движение в направлении декарбонизации и достижения углеродной нейтральности, обеспечивает долгосрочную конкурентоспособность российских производителей на мировых рынках. Принятие в конце 2022 г. Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации (РФ) до 2030 г., в которой акцент сделан на приоритетное развитие и внедрение инновационных низкоуглеродных технологий, подтверждает этот вывод и ориентирует на введение углеродного регулирования при соответствующих мерах государственной поддержки.

Сложившийся в настоящее время в России тип экономики носит преимущественно ресурсоориентированный характер, основанный на расточительном использовании ресурсов, обусловленном низкими ставками платы за них. Рациональное природопользование предполагает разумное использование природных ресурсов с максимальным извлечением всех полезных компонентов при минимальных нарушениях ресурсного потенциала окружающей природной среды. Формирование более рациональной системы природопользования в среднесрочной перспективе является важной стратегической задачей в целях обеспечения экономической безопасности страны и создания более благоприятных социально-экономических условий для населения. Необходимость выработки новых ориентиров диктуется также концепцией устойчивого развития, принятой на международном уровне и утвержденной в ряде документов ООН и других международных организаций. Цель преобразований — перевод всех видов хозяйственной деятельности на экологически безопасные рельсы и соблюдение сбалансированности экологии, экономики и социума. В отличие от прежнего принципа подчиненности экологии экономическим принципам, концепция устойчивого развития утвердила паритет экономических интересов и экологических ценностей при принятии хозяйственных решений. Разработка механизма достижения такого паритета служит одной из приоритетных задач государственной политики в области экономико-экологического регулирования [1, с. 44–45].

Проблемы экологической безопасности и борьбы с глобальным изменением климата

в течение последних лет занимают ведущие позиции среди вопросов, волнующих мировое сообщество в связи с глобальными угрозами устойчивому развитию. Отчет Всемирного экономического форума о глобальных рисках за 2023 г. указывает на то, что в ближайшие десять лет среди наиболее острых ожидаемых угроз первые четыре места занимают экологические и климатические риски, а именно: 1) неспособность смягчить последствия изменения климата; 2) неспособность адаптироваться к этим изменениям; 3) рост количества стихийных бедствий и экстремальных явлений погоды; 4) утрата биоразнообразия и разрушение экологических систем. Кроме того, в десятку наиболее острых глобальных угроз входят риски истощения природных ресурсов и экологических катастроф [2]. Таким образом, экологические и климатические риски находятся среди основных угроз устойчивому развитию как по степени этих угроз, так и по вероятности их осуществления.

Другая обобщенная оценка глобальных экологических и климатических рисков выполнена в апреле 2022 г. и опубликована в заключительном варианте шестого доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC). В докладе сделан акцент на негативной тенденции ускорения процесса глобального изменения климата по сравнению с периодом, когда обсуждали и принимали по итогам 21-й конференции Рамочной конвенции об изменении климата Парижское соглашение по климату от 12 декабря 2015 г. [3]. В документе говорится о том, что в течение десятилетнего периода (2010–2019) глобальный ежегодный объем эмиссии парниковых газов (ПГ) продолжал расти, хотя и несколько более медленными темпами, чем в течение предыдущих десяти лет, с 2000 по 2009 г. Кроме того, отмечается, что сокращение объемов эмиссии ПГ, достигнутое в результате интенсивных мер по декарбонизации за последние несколько лет, перекрыто ростом объемов эмиссии ПГ в связи с ростом промышленности, энергетики, транспорта и строительства. Таким образом, тенденция роста глобальных годовых объемов эмиссии ПГ сохраняется. Вместе с тем речь идет о том, что с 2010 г. наблюдается снижение стоимости новых низкоуглеродных технологий благодаря усилиям, предпринятым в области поддержки разработки инноваций, что привело к их внедрению и способствовало снижению эмиссионных объемов.

На основании анализа этих тенденций в докладе сделан вывод, подтверждающий итоги Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК), состоявшейся ранее, в ноябре 2021 г., о том, что, скорее всего, в течение XXI в. не удастся сдержать рост глобальной температуры воздуха в пределах $1,5^{\circ}\text{C}$ относительно уровня 1850–1900 гг., как это планировали при подготовке Парижского соглашения по климату в 2015 г. Вероятность сдерживания в эти сроки роста глобальной температуры в пределах $2,0^{\circ}\text{C}$ будет зависеть от интенсивности мер по борьбе с изменением климата и смягчению его последствий, которые будут реализованы после 2030 г.

Следует также иметь в виду, что климатические изменения на территории России происходят более отчетливо, чем в среднем на планете, поскольку над сушей процесс изменения идет быстрее, чем над океаном. Средняя скорость повышения среднегодовой глобальной приповерхностной (суша + море) температуры воздуха в 1976–2021 гг. составила $0,18^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, а температуры воздуха над сушей — $0,295^{\circ}\text{C}$ за этот же период. Приземная температура воздуха над территорией РФ повышается еще быстрее: в среднем на $0,49^{\circ}\text{C}$ за десятилетие в 1976–2021 гг. [4, с. 22].

Современные меры по борьбе с изменением климата, предпринимаемые на международном и национальных уровнях, недостаточны, они требуют усиления [5]. Во многих странах приняты долгосрочные низкоуглеродные стратегии развития с указанием темпов снижения объемов эмиссии ПГ и сроков достижения углеродной нейтральности. Отметим, что углеродная нейтральность (чистый нулевой углеродный след) — равновесное состояние, при котором эмиссия ПГ уравнивается мерами по удалению углерода и (или) компенсационными мерами.

Крупные промышленные компании ищут пути снижения углеродоемкости производства и инвестируют в развитие инноваций, в частности в области технологий улавливания, использования и хранения двуоксида углерода (CCUS), бурное развитие которых началось после 2020 г. Именно с развитием подобных технологий связывают планы по сокращению объемов эмиссии ПГ в промышленном секторе [6]. Для их более эффективного развития требуются не только крупные финансовые вложения, но и соот-

ветствующая нормативная правовая база, а также эффективные меры государственной поддержки научных разработок [7]. В России, где традиционно борьбу за снижение углеродоемкости вели в основном инерционными методами (посредством налоговых платежей, повышения энергоэффективности в рамках действующей технологии и т. д.), в условиях высокого уровня углеродоемкости производства существуют широкие возможности и потенциал развития инновационного сегмента рынка. Развитие технологий декарбонизации может стать новым перспективным направлением научно-технического прогресса, и успешное освоение российскими компаниями этих технологий позволит им занять перспективные позиции на мировом рынке.

Механизмы регулирования декарбонизации

В отечественной литературе вопросы декарбонизации освещают регулярно и всесторонне. Анализ и обобщение последних международных научно-аналитических и экспертных исследований, оценок позволяет сделать вывод о том, что для адекватного ответа на современные и будущие вызовы путь к декарбонизации должен проходить через глубокую трансформацию всех экономических цепочек и общественных систем на базе инновационных изменений в энергетике [8]. В России важным шагом является совершенствование нормативной правовой базы в области углеродного налогообложения и механизма учета, регулирования объемов эмиссии и поглощения ПГ [9].

Ряд исследований посвящен предстоящему введению механизма трансграничного углеродного регулирования (ТУР) со стороны Европейского союза (ЕС) и возможным последствиям для отечественной экономики. Интерес к этому механизму связан с тем, что ранее последний не применялся. Для России введение ТУР будет означать снижение объемов экспорта и экспортных доходов. Для компенсации негативных последствий необходимо переходить к активной политике стимулирования снижения объемов эмиссии ПГ в промышленности [10]. Особенно чувствительным введение углеродных платежей может оказаться для российского экспорта металлургической продукции, а также электроэнергии, нефти и удобрений [11].

В работах специалистов Института народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук (ИНП РАН) исследован комплекс вопросов о путях достижения декарбонизации и адаптации экономики к климатическим изменениям в рамках Стратегии социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов [12]. Объектом исследования служат риски для национальных интересов России, которые могут возникнуть в результате принятия жестких обязательств по достижению углеродной нейтральности к определенному сроку [13], и на этом основании исследователи предлагают более взвешенный подход, при котором соблюдается баланс между устойчивым экономическим ростом и снижением объемов эмиссии ПГ. На основе результатов экономических оценок реализации различных сценариев декарбонизации авторы приходят к выводу о целесообразности сочетания мер по снижению нагрузки на окружающую среду с мерами по адаптации населения и экономики к изменениям климата [14]. При выборе стратегических решений целесообразно выбирать не пассивный путь адаптации к внешним изменениям, а занимать более активную позицию с учетом роли России на мировом энергетическом рынке и имеющегося научно-технического потенциала [15]. Отдельным актуальным направлением становится анализ перспектив декарбонизации и достижения углеродной нейтральности в России в условиях внешних санкционных ограничений, которые затрудняют доступ к низкоуглеродным технологиям [16]. В сложившихся условиях нужны решительные шаги по развитию конкурентоспособного научного потенциала для обеспечения технологического суверенитета. Экспертные обсуждения и научные исследования в этом направлении уже ведутся [17] и будут продолжены. В частности, Министерство энергетики (Минэнерго) РФ ведет разработку плана реализации Стратегии низкоуглеродного развития России, и в качестве пилотного проекта проводится эксперимент по достижению углеродной нейтральности на Сахалине к 2025 г.

Приведенным выше перечнем трудов далеко не исчерпаны все аспекты изучаемой проблемы, которая имеет множество сопряжений с другими экономическими, политическими, социальными, финансовыми и институциональными аспектами

декарбонизации. Рассмотрим коротко такое значимое направление международной климатической повестки, как выработка странами долгосрочных стратегий и планов по декарбонизации.

В рамках выполнения обязательств, согласно Парижскому соглашению по климату 2015 г., многие страны заявили о планах по достижению углеродной нейтральности к середине XXI века, а также утвердили долгосрочные стратегии декарбонизации. Одна из наиболее известных стратегий такого рода — «Зеленый курс» ЕС (*European Green Deal*), которая разработана в 2019 г. и принявшая окончательный вид в 2021 г., после одобрения ряда сопровождающих документов [18]. Цели, обозначенные в «Зеленом курсе», дополнительно закреплены в Климатическом законе ЕС (*European Climatic Law*) [19], который придал им юридически обязывающий характер. В соответствии с законом страны — члены ЕС обязаны разработать, принять национальные стратегии снижения объемов эмиссии ПГ и достижения углеродной нейтральности, и в 2022 г. 23 страны из 27 уже приняли такие долгосрочные стратегии [20]. Кроме того, на среднесрочную перспективу разработана программа, ориентирующая страны ЕС на достижение промежуточной цели — снизить объем эмиссии ПГ на 55 % уже к 2030 г. [21]. Для этого предусмотрены меры по таким направлениям, как расширение действующей системы торговли эмиссионными квотами, ужесточение экологических требований к автотранспорту, усиление штрафных санкций за экологические нарушения в авиации и судоходстве, постепенное внедрение механизма ТУР для различных категорий импортируемой продукции и введение более амбициозных планов в отношении развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Лидером среди стран ЕС в области декарбонизации выступает Германия, где с 1990-х гг. развивается концепция «энергетического поворота» (*Energiewende*), и на протяжении всех последних лет растут климатические амбиции, достигаются высокие темпы развития ВИЭ. В принятом в 2019 г. Законе о климате четко декларирована цель: достичь углеродной нейтральности к 2050 г., а к 2030 г. — снизить объем эмиссии ПГ на 55 % по сравнению с 1990 г. В 2021 г. после выработки дополнительных мер, в том числе финансовых, по декарбо-

низации энергетики и промышленности эта цель была скорректирована, и срок достижения углеродной нейтральности сдвинут с 2050 на 2045 г., а ожидаемое снижение объемов эмиссии ПГ к 2030 г. возросло от 55 до 65 % [22]. Новая энергетическая стратегия Франции, принятая в 2022 г., предполагает достижение углеродной нейтральности к 2050 г. и сокращение объемов эмиссии ПГ на 83 % по сравнению с уровнем 2015 г. Одновременно с этим будет сохранена ведущая роль атомной генерации в энергетическом балансе. Планируется, что к 2050 г. будут построены шесть реакторов нового поколения *EPR-2*. На эти цели до 2030 г. планируют выделить бюджетные средства в объеме 1 млрд евро и профинансировать исследования по строительству еще восьми новых реакторов. Это позволит не только существенно продвинуться по пути декарбонизации, но и сохранить 220 тыс. квалифицированных рабочих мест, а также создать новые рабочие места [23].

Таким образом, в настоящее время и на уровне интеграционного объединения, и на уровне ведущих стран — членов ЕС продолжается процесс повышения амбиций в отношении декарбонизации при существенной финансовой поддержке со стороны государств. Этот процесс сопровождается законодательным закреплением целевых показателей в законах и «зеленых курсах», а также созданием дискриминационных механизмов на мировых рынках и усилением санкционного давления в отношении других стран по широкому кругу продуктов. В условиях таких вызовов для России важным становится выбор дальнейших отраслевых стратегий по достижению декарбонизации, в первую очередь в отношении отраслей — загрязнителей.

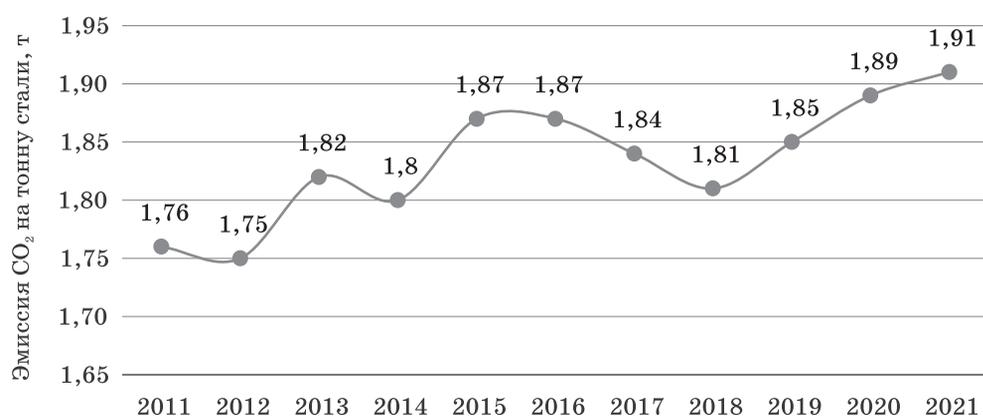
Возможные перспективы развития декарбонизации на примере черной металлургии и целлюлозно-бумажной отрасли

Рассмотрим возможные пути развития стратегий декарбонизации на примере черной металлургии и целлюлозно-бумажной промышленности.

Металлургическая отрасль является одним из крупнейших загрязнителей в России, выбрасывая ежегодно миллионы тонн оксида углерода, азота, диоксида серы и твердых веществ [24, с. 5–6]. Именно поэтому черная

металлургия привлекает особое внимание, если речь идет о проблеме декарбонизации промышленных технологических процессов. Выделяют два принципиально разных подхода к решению данной проблемы. В большинстве случаев меры сводились к совершенствованию производственных процессов в рамках существующих технологий. Сталелитейная продукция производится в основном двумя способами: конвертерным и электросталеплавильным. Наиболее распространенная и одновременно наиболее «грязная» технология — кислородно-конвертерное (доменное) производство. По данным Всемирной ассоциации производителей стали, удельный объем эмиссии CO_2 на тонну выпускаемой стали в последние годы растет. Данные за 2021 г. составлены на основе информации, полученной в 2022 г. от 104 сталелитейных компаний, которые производят 56 % мировой стали, как видно на рисунке 1 [25]. Заслуживает внимания сравнительная характеристика удельных показателей интенсивности эмиссии CO_2 и энергоемкости при различных способах производства стали: традиционного кислородно-конвертерного производства в доменных печах (*Blast Furnace — Basic Oxygen Furnace, BF-BOF*), прямого восстановления железа в электродуговых печах (*Direct Reduced Iron, DRI — based Electric Arc Furnace, EAF*) и вторичного использования лома в электропечах (*Scrap-EAF*), как показано в таблице 1. Как следует из таблицы 1, конвертерное производство производит эмиссию CO_2 в объеме 2,32 т на тонну произведенной стали, что превышает средний уровень (1,91 т), в то время как электросталеплавильное производство и технология прямого восстановления железа производят 0,67 и 1,65 т CO_2 на тонну стали соответственно.

Кислородно-конвертерное производство имеет максимальный объем удельной эмиссии CO_2 , что объясняется технологией производства, при которой используется энергия, получаемая на основе коксующегося угля и газа. Для радикального снижения уровня эмиссии CO_2 необходимо отказаться от энергии, вырабатываемой из углеводородного сырья. Это обстоятельство обуславливает трудность осуществления декарбонизации в черной металлургии в рамках данной технологии. Поиски новых решений происходят в основном в области технологий прямого восстановления железа, ис-

Рис. 1. Удельные объемы эмиссии CO₂ (т) на тонну стали, 2011–2021 гг.Fig. 1. Specific emission volumes of CO₂ (t) per ton of steel, 2011–2021

Источник: [25].

Таблица 1

Удельные показатели интенсивности эмиссии CO₂ и энергоемкости при сталелитейном производстве, 2021

Table 1. Specific indicators of CO₂ emission intensity and energy intensity in steel production, 2021

	Доля, %	Эмиссия, т CO ₂ / 1 т стали	Энергоемкость, ГДж / 1 т стали
Среднемировой показатель	–	1,91	21,31
Кислородно-конверторное производство, <i>BF-BOF</i>	71	2,32	24,43
Прямое восстановление железа, <i>DRI-EAF</i>	22	1,65	25,29
Вторичное производство из лома, <i>Scrap-EAF</i>	7	0,67	10,04

Источник: [25].

пользования водорода вместо углеводородного сырья и технологий улавливания CO₂ [26, с. 354]. По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), наиболее перспективным выглядит путь развития технологии прямого восстановления железа с использованием водорода, которая получит в будущем более интенсивное развитие. Доля стали, производимой кислородно-конверторной технологией, будет снижаться с имеющихся 71 % до 30–50 %, в зависимости от сценария [27], а доля стали, производимой на основе инновационных технологий, — возрастать.

Для предприятий черной металлургии России прослеживаются три возможных сценария декарбонизации [26, с. 356–357]: консервативный (модернизация производства и повышение энергетической эффективности в рамках существующих технологий), базовый (переход от углеводородных энергоносителей к ВИЭ) и прогрессивный (внедрение технологии прямого восстановления железа на основе использования водорода и технологий *CCUS*). В настоящее время реализуется в основном первый сце-

нарий, который требует минимальных затрат, но при этом приводит к небольшому сокращению объемов эмиссии CO₂ и не позволяет рассчитывать на достижение углеродной нейтральности. Его применение оправдано в краткосрочном плане, но для достижения декарбонизации в долгосрочной перспективе его эффективность ограничена, а продукция российских производителей будет облагаться углеродным налогом в рамках ТУР. Базовый сценарий способен обеспечить более заметные результаты по снижению объемов эмиссии CO₂, но он сопряжен с повышением себестоимости продукции из-за дороговизны ВИЭ по сравнению с углеводородными энергоносителями. Прогрессивный сценарий требует развития инновационных технологических процессов, крупных затрат и значительно больше времени, но именно этот путь сегодня рассматривается среди европейских производителей стали как один из наиболее перспективных и экономически эффективных для достижения декарбонизации отрасли [28].

По данным за 2020 г., уровень удельной эмиссии CO₂ у российских компаний был

выше среднемирового уровня: ООО «Евраз» — 1,97, ПАО «НЛМК» — 1,98, ПАО «Северсталь» — 2,063, ПАО «ММК» — 2,18, АО «Металлоинвест» — 2,3. Показатели приведены в единицах т CO₂ на тонну произведенной стали [29].

В России предприятия черной металлургии в основном идут по консервативному пути, то есть по пути совершенствования существующих технологий без внедрения дорогостоящих инновационных решений. ООО «Евраз» борется за сокращение объемов эмиссии CO₂ путем модернизации сталелитейного (модернизация нагревательных печей, аспирационных установок и др.), коксохимического производства и ввода в эксплуатацию установок пылеудаления [30]. ПАО «НЛМК» занимается реконструкцией систем газоочистки и пылеудаления. На период до 2030 г. компания планирует на одном из заводов начать переход на электродуговой способ производства с использованием горячеприкатанного железа (ГБЖ) — одного из видов прямовосстановленного железа в виде брикетов с содержанием железа более 90 % [31]. ПАО «Северсталь» рассматривает возможности развития технологии CCUS без кардинальных изменений в производственном процессе [32]. ПАО «ММК» занимается модернизацией доменных технологий, а также рассматривает планы по внедрению технологии CCUS, замене доменных печей электродуговыми печами и установками по производству ГБЖ на основе технологии прямого восстановленного железа после 2025 г. [33]. АО «Металлоинвест» является единственным в России и крупнейшим в мире производителем товарного ГБЖ, который производит сталь в электропечах с использованием прямого восстановленного железа в качестве сырья. Компания планирует расширять производство ГБЖ на новых производственных площадках [34]. Ближайшие годы должны стать важными для выбора российскими компаниями долгосрочных стратегий и определения приоритетных направлений декарбонизации.

В конце 2022 г. принята новая Стратегия развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г. [35], в которой особое внимание уделено вопросам углеродного регулирования. Подтвердив курс на низкоуглеродное развитие в соответствии со Стратегией социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов

парниковых газов до 2050 г., Стратегия развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г. ориентирует на приоритетное развитие и применение низкоуглеродных технологий, в первую очередь — на технологии прямого восстановления железа и производства стали в электродуговых печах. Это позволит резко сократить объемы эмиссии ПГ, связанные с производством кокса, агломерата и чугуна, снизить нагрузку на окружающую среду, а российским компаниям — укрепить позиции на мировых рынках товарного ГБЖ.

Наряду с черной металлургией целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) также выступает одной из наиболее «грязных» в плане негативного воздействия на окружающую среду. Хотя совокупный вклад отрасли в глобальный объем эмиссии CO₂ относительно небольшой и составляет примерно 1 %, то есть приблизительно в десять раз меньше, чем вклад черной металлургии, в расчете на единицу продукции он является значительным. Для большинства российских компаний удельный объем эмиссии CO₂ — эквивалент (CO₂e), то есть эквивалент объема эмиссии углекислого газа — условная единица, используемая для оценки объемов эмиссии ПГ, составляет 1,7–2,0 т на тонну продукции, что сопоставимо с отечественными предприятиями черной металлургии, но значительно превышает уровень зарубежных компаний в секторе ЦБП. Разработанный Минэкономразвития в 2022 г. проект операционного плана реализации низкоуглеродной стратегии РФ [36] предусматривает сокращение объемов эмиссии ПГ на предприятиях ЦБП и печати на 17 % (то есть до уровня 83 %) от соответствующего объема 2019 г. При этом базовый уровень 2019 г. принят равным 1,02 т CO₂ — эквиваленту на тонну готовой продукции. Это означает, что фактически к 2030 г. необходимо сократить объемы эмиссии не на 17 %, а в два раза.

Тем не менее даже в условиях настолько амбициозной задачи российские предприятия ЦБП имеют реальные возможности для декарбонизации как путем совершенствования существующих технологий, так и с применением инновационных решений. Традиционные методы снижения углеродоемкости находятся в сфере совершенствования технологий переработки отходов, повышения уровня энергоменеджмента, более эффективного вторичного использования

сырья и электрификации теплоснабжения производственных мощностей с использованием ВИЭ [37]. Успешная реализация такого подхода может быть проиллюстрирована на примере одного из крупнейших предприятий отрасли — Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), который реализует с 2004 г. уже третью свою программу низкоуглеродного развития, рассчитанную до 2030 г. Реализуемая стратегия предприятия, принятая в 2019 г., основана на рекомендациях международной партнерской инициативы «Научно обоснованные цели» (*Science Based Targets initiative, SBTi*), которая является партнерской программой сотрудничества между организациями — участниками Глобального договора ООН, Институтом проблем мировых энергоресурсов (*WRI*), международной инициативой по углеродной отчетности (*CDP*) и Всемирным фондом дикой природы (*WWF*), организованной с целью стимулирования совместных действий в области защиты климата. Благодаря этому сотрудничеству с научным сообществом, предприятию удалось создать стратегию и план действий по сокращению объемов эмиссии CO_2 от производственной деятельности. Учитываются и эмиссия ПГ, заключенная в топливе, сырье и материалах, поступивших по цепочке от поставщиков. Это позволяет предприятию контролировать углеродный след всего производственного цикла. Цель Стратегии — снижение объемов эмиссии CO_2 на 55 % от уровня 1990 г. до 1,4 млн т CO_2 — эквивалента в год, сокращение объемов эмиссии по всей производственной цепочке на 20 % от уровня 2015 г. Следует отметить, что целевой показатель снижения объемов эмиссии на 55 % появился в Стратегии предприятия на два года раньше, чем в стратегических документах ЕС в рамках «Зеленого курса», а именно, в климатической программе “Fit for 55” [21], предвосхитив решения ЕС. В 2021 г. ООН признала опыт реализации климатических стратегий и многолетнего последовательного снижения объемов эмиссии ПГ Архангельского ЦБК как передовую практику по достижению целей устойчивого развития и рекомендовала распространять его на других предприятиях отрасли. Рейтинг международной инициативы *CDP* за 2019 г. присвоил Архангельскому ЦБК самый высокий уровень «А» среди российских компаний, и комбинат вошел в топ-18

ведущих мировых ЦБК с климатическим рейтингом «А» [38].

Среди инновационных проектов, которые могут оказать существенное влияние на процесс декарбонизации ЦБП, следует указать проекты по развитию технологий производства и использования нанокристаллической целлюлозы (наноцеллюлозы, НЦ). Ее основой является целлюлоза — самый распространенный возобновляемый биополимер в природе. Введение в ее молекулярную структуру наноразмерных добавок приводит к значительному увеличению прочности и износостойкости, повышению температур плавления и в значительной степени изменяет физико-химические и механические характеристики, позволяя создавать на этой основе композиционные материалы с новыми свойствами [39, с. 116]. Еще одна особенность НЦ состоит в том, что это — экологичный биоразлагаемый продукт, который можно синтезировать, помимо традиционной древесины, из других целлюлозосодержащих материалов, в том числе из отходов ЦБК, что означает возможность утилизации отходов производства, наличие значительного экологического и декарбонизационного потенциала для отрасли ЦБП. К ценным свойствам НЦ относятся также сверхпрочность (при определенных условиях), химическая и биологическая контролируемость, биосовместимость, способность заменяться собственными тканями организма и биоразлагаемость. Области возможного применения НЦ — это медицина (при изготовлении имплантационных материалов для хирургии, в тканевой инженерии для получения искусственных кровеносных сосудов, в стоматологии и др.), производство защитных материалов (автомобильные бамперы, элементы баллистической защиты и др.), производство композитных материалов, бумаги, картона и упаковки для улучшения физико-химических свойств, пищевая промышленность и косметика, производство гибких биоразлагаемых элементов для электронной промышленности, производство красок и покрытий, др. [40]. Широкое практическое применение НЦ в пищевой промышленности и медицине сдерживается ввиду того, что не все свойства НЦ в достаточной степени изучены, чтобы иметь допуск к использованию в соответствии с техническими регламентами и иными нормами технического регулирования. В настоящее время специалисты продолжают

исследования, направленные на изучение этих свойств с целью подтверждения безопасности такой продукции для здоровья [41, с. 14–15].

Выводы

Выбор оптимальных путей достижения углеродной нейтральности находится в центре внимания отечественного и международного экспертного сообщества. В условиях продолжающейся тенденции усиления опасных процессов изменения климата более острой становится задача выбора и принятия стратегических решений в отношении стратегий декарбонизации. Во многих странах приняты и реализуются долгосрочные стратегии ускоренного продвижения к углеродной нейтральности. Проведенный выше анализ двух секторов промышленности показал имеющийся потенциал декарбонизации и иных форм снижения негативного воздействия на окружающую среду, который может быть задействован при условии принятия активных инноваци-

онно-технологических стратегий. Основные направления использования данного потенциала находятся в плоскости развития отраслевых инновационных технологий. Особенно это заметно на примере черной металлургии, где многие российские компании не планируют коренных изменений технологических процессов. Новая стратегия развития металлургической промышленности, которая принята в конце 2022 г., предполагает меры по стимулированию внедрения в производство прорывных технологий. Будущие исследования могут быть направлены на анализ хода выполнения принятых ранее решений, в том числе на мониторинг федерального законодательства в сфере декарбонизации и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Еще одним значимым направлением будущих исследований может стать анализ перспектив декарбонизации и достижения углеродной нейтральности в России в условиях внешних санкционных ограничений, которые ограничивают доступ к низкоуглеродным технологиям.

Список источников

1. Гусев А. А. Эволюция экономико-правовых отношений в «зеленом» развитии // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56. № 1. С. 44–53. DOI: 10.31857/S042473880008480-7
2. Global risks report 2023. 18th ed. Geneva: World Economic Forum; 2023. 98 p. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2023.pdf (дата обращения: 30.01.2023).
3. Climate change 2022: Mitigation of climate change. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2022. 1991 p. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf (дата обращения: 30.01.2023).
4. Киселев А. А. Глобальные изменения климата. Наблюдаемые изменения // Об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: третий оценочный доклад. Общее резюме / под. ред. В. М. Катцова. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. С. 14–36.
5. Guterres A. Statement by the Secretary-General at the conclusion of COP27 in Sharm el-Sheikh // United Nations. 2022. 27 November. URL: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2022-11-19/statement-the-secretary-general-the-conclusion-of-cop27%2%A0-sharm-el-sheikh%2%A0%2%A0> (дата обращения: 30.01.2023).
6. Carbon capture, utilisation and storage // IEA. 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-2> (дата обращения: 30.01.2023).
7. Богачева О. В., Смородинов О. В. Инструменты финансовой поддержки НИОКР и уровни готовности технологий // Финансовый журнал. 2021. Т. 13. № 6. С. 8–24. DOI: 10.31107/2075-1990-2021-6-8-24
8. Мастепанов А. М. Основные движущие силы энергетического перехода и проблемы его достижения // Проблемы постсоветского пространства. 2021. Т. 8. № 2. С. 256–276. DOI: 10.24975/2313-8920-2021-8-2-256-276
9. Мастепанов А. М. Россия на пути к углеродной нейтральности // Энергетическая политика. 2022. № 1 (167). С. 94–103. DOI: 10.46920/2409-5516_2022_1167_94
10. Башмаков И. А. Углеродное регулирование в ЕС и российский сырьевой экспорт // Вопросы экономики. 2022. № 1. С. 90–109. DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-90-109
11. Судаков С. С., Лазарян С. С., Вотинов А. И. Трансграничное углеродное регулирование ЕС: оценка будущих платежей для стран-экспортеров // Финансовый журнал. 2022. Т. 14. № 5. С. 71–88. DOI: 10.31107/2075-1990-2022-5-71-88
12. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р // Справ.-правовая система «КонсультантПлюс».

- URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/?ysclid=le75mthifr188281038 (дата обращения: 30.01.2023).
13. Порфирьев Б. Н., Широ А. А., Колпаков А. Ю. Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России // Георесурсы. 2021. Т. 23. № 3. С. 3–7. DOI: 10.18599/grs.2021.3.1
 14. Порфирьев Б. Н., Широ А. А. Стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов: сценарии и реалии для России // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 5. С. 415–423. DOI: 10.31857/S086958732205005X
 15. Порфирьев Б. Н. Декарбонизация versus адаптация экономики к климатическим изменениям в стратегии устойчивого развития // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4 (193). С. 45–54. DOI: 10.47711/0868-6351-193-45-54
 16. Широ А. А. Влияние климатической повестки на перспективы развития экономики России. Выступление в дискуссионной сессии «Энергетический переход» 27-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (КС-27). URL: <https://ecfor.ru/publication/vliyanie-klimaticheskoy-povestki-na-perpektivu-razvitiya-rossii/> (дата обращения: 30.01.2023).
 17. Бойко А. Эксперты РАН оценили влияние санкций на планы России по декарбонизации // Ведомости. 2022. 22 ноября. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/11/22/951444-otsenili-vliyanie-sanktsii-na-plani-po-dekarbonizatsii> (дата обращения: 30.01.2023).
 18. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions // European Commission. 2021. July 14. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541 (дата обращения: 30.01.2023).
 19. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law') // EUR-Lex Official Journal. 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN> (дата обращения: 23.01.2023).
 20. National long-term strategies // European Commission. 2022. URL: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-long-term-strategies_en (дата обращения: 30.01.2023).
 21. Fit For 55. The EU's plan for a green transition // European Council. 2021. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (дата обращения: 30.01.2023).
 22. Appunn K., Wettengel J. Germany's Climate Action Law // Clean Energy Wire. 2021. July 12. URL: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-climate-action-law-begins-take-shape> (дата обращения: 23.01.2023).
 23. La nouvelle stratégie énergétique de la France // Le Gouvernement Français. 2022. URL: <https://www.gouvernement.fr/actualite/la-nouvelle-strategie-energetique-de-la-france> (дата обращения: 30.01.2023).
 24. Федоренко И. Н., Кузнецова Э. С. Инструменты стимулирования экологических инноваций в металлургической отрасли // Экономика природопользования. 2020. № 4. С. 4–15. DOI: 10.36535/1994-8336-2020-04-1
 25. Sustainability indicators // World Steel Association. 2022. URL: <https://worldsteel.org/steel-topics/sustainability/sustainability-indicators/> (дата обращения: 30.01.2023).
 26. Пахомова Н. В., Рухтер К. К., Венрова М. А. Глобальные климатические вызовы, структурные сдвиги в экономике и разработка бизнесом проактивных стратегий достижения углеродной нейтральности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2022. Т. 38. № 3. С. 331–364. DOI: 10.21638/spbu05.2022.301
 27. Global crude steel production by process route and scenario, 2019–2050 // IEA. 2022. 26 October. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-crude-steel-production-by-process-route-and-scenario-2019-2050> (дата обращения: 30.01.2023).
 28. Mandova H., Patrizio P., Leduc S., Kjærstad J., Wang C., Wetterlund E., Kraxner F., Gale W. Achieving carbon-neutral iron and steelmaking in Europe through the deployment of bioenergy with carbon capture and storage // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 218. P. 118–129. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.247
 29. Литье металлов под давлением общества // Интерфакс. 2021. 28 декабря. URL: <https://www.interfax.ru/russia/813070> (дата обращения: 30.01.2023).
 30. Управление выбросами в атмосферу // ЕВРАЗ. URL: <https://www.evraz.com/ru/sustainability/environmental-stewardship/air-emissions/> (дата обращения: 30.01.2023).
 31. Годовой отчет 2021 г. Липецк: Группа НЛМК, 2022. 412 с. URL: https://nlmk.com/upload/iblock/469/NLMK_AR2021_RUS.pdf (дата обращения: 25.01.2023).
 32. Будущее декарбонизации металлургии: вызовы и решения // Северсталь. 2021. 24 ноября. URL: <https://vmeste.severstal.com/sustainability/budushchee-dekarbonizatsii-metallurgii-vyzovy-i-resheniya/> (дата обращения: 30.01.2023).

33. ММК поделился планами по движению к углеродной нейтральности // Магнитогорский металлургический комбинат (ММК). 2021. 10 декабря. URL: <https://mmk.ru/ru/press-center/news/mmk-podelilsya-planami-po-dvizheniyu-k-uglerodnoy-neutralnosti/> (дата обращения: 30.01.2023).
34. Операционные результаты за 12 месяцев и 4 квартал 2021 года // Металлоинвест. 2022. 25 января. URL: <https://www.metalloinvest.com/media/press-releases/628427/> (дата обращения: 30.01.2023).
35. Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г.: распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4260-р // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963845/?ysclid=le8ammwhbw122339414> (дата обращения: 30.01.2023).
36. Проект операционного плана реализации низкоуглеродной стратегии России // EnergiaVita. 2022. 11 февраля. URL: <https://energiavita.ru/2022/02/11/proekt-operacionnogo-plana-realizacii-nizkouglerodnoj-strategii-rossii/> (дата обращения: 30.01.2023).
37. У целлюлозно-бумажных комбинатов есть все возможности для декарбонизации // РБК. 2022. 17 июня. URL: <https://plus.rbc.ru/news/62ab4cdc7a8aa98ade293543> (дата обращения: 30.01.2023).
38. Организация Объединенных Наций признала работу экологов АЦБК одной из лучших в России // 29.ru. 25 июня 2021 г. URL: <https://29.ru/text/ecology/2021/06/25/69990401/> (дата обращения: 30.01.2023).
39. Зарубина А. Н., Иванкин А. Н., Кулезнев А. С., Кочетков В. А. Целлюлоза и наноцеллюлоза. Обзор // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 5. С. 116–125. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-116-125
40. Анализ рынка наноцеллюлозы // ГидМаркет. 2020. 17 марта. URL: <https://gidmark.ru/cat1/marketingovoe-issledovanie-gynka-nanocellyulozy> (дата обращения: 30.01.2023).
41. Гмошинский И. В., Шупелин В. А., Хотимченко С. А. Наноцеллюлозы в пищевой промышленности и медицине: структура, получение и применение // Вопросы питания. 2022. Т. 91. № 3. С. 6–20. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-3-6-20

References

1. Gusev A.A. Evolution of economic and legal relations in the “green” development. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*. 2020;56(1):44-53. (In Russ.). DOI: 10.31857/S042473880008480-7
2. Global risks report 2023. 18th ed. Geneva: World Economic Forum; 2023. 98 p. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2023.pdf (accessed on 30.01.2023).
3. Climate change 2022: Mitigation of climate change. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; 2022. 1991 p. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf (accessed on 30.01.2023).
4. Kiselev A.A. Global climate change. Observed changes. In: Katsov V.M., ed. On climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation: The third assessment report. General summary. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii; 2022:14-36. (In Russ.).
5. Guterres A. Statement by the Secretary-General at the conclusion of COP27 in Sharm el-Sheikh. United Nations. Nov. 27, 2022. URL: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2022-11-19/statement-the-secretary-general-the-conclusion-of-cop27%C2%A0-sharm-el-sheikh%C2%A0> (accessed on 30.01.2023).
6. Carbon capture, utilisation and storage. IEA. 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-2> (accessed on 30.01.2023).
7. Bogacheva O.V., Smorodinov O.V. Financial support for research, development and engineering instruments and technology readiness levels. *Finansovyi zhurnal = Financial Journal*. 2021;13(6):8-24. (In Russ.). DOI: 10.31107/2075-1990-2021-6-8-24
8. Mastepanov A.M. The main driving forces of the energy transition and the problems of achieving it. *Problemy postsovetskogo prostranstva = Post-Soviet Issues*. 2021;8(2):256-276. (In Russ.). DOI: 10.24975/2313-8920-2021-8-2-256-276
9. Mastepanov A.M. Russia on the way to carbon neutrality. *Energeticheskaya politika = The Energy Policy*. 2022;(1):94-103. (In Russ.). DOI: 10.46920/2409-5516_2022_1167_94
10. Bashmakov I.A. CBAM and Russian export. *Voprosy ekonomiki*. 2022;(1):90-109. (In Russ.). DOI: 10.32609/0042-8736-2022-1-90-109
11. Sudakov S.S., Lazaryan S.S., Votinov A.I. EU’s carbon border adjustment mechanism: Assessment of future payments for exporters. *Finansovyi zhurnal = Financial Journal*. 2022;14(5):71-88. (In Russ.). DOI: 10.31107/2075-1990-2022-5-71-88
12. On approval of the Strategy for the socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050. Decree of the Government of the Russian Federation dated October 29, 2021 No. 3052-r. Konsul’tantPlyus. URL: <https://www.con>

- sultant.ru/document/cons_doc_LAW_399657/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2/?ysclid=le75mthifr188281038 (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
13. Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. Comprehensive approach to the strategy of low-carbon socio-economic development of Russia. *Georesursy*. 2021;23(3):3-7. (In Russ.). DOI: 10.18599/grs.2021.3.1
 14. Porfiriev B.N., Shirov A.A. Strategies for socio-economic development with low greenhouse gas emissions: Scenarios and realities for Russia. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk = Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2022;92(5):415-423. (In Russ.). DOI: 10.31857/S086958732205005X
 15. Porfiriev B.N. Decarbonization vs. adaptation of the economy to climate change within the sustainable development strategy. *Studies on Russian Economic Development*. 2022;33(4):385-391. DOI: 10.1134/S1075700722040074 (In Russ.: *Problemy prognozirovaniya*. 2022;(4):45-54. DOI: 10.47711/0868-6351-193-45-54).
 16. Shirov A. The impact of the climate agenda on the prospects for the development of Russian economy. Speech at the discussion session “Energy Transition” of the 27th Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change (COP-27). URL: <https://ecfor.ru/publication/vliyanie-klimaticheskoy-povestki-na-perpektivy-razvitiya-rossii/> (accessed on 30.01.2023).
 17. Boiko A. RAS experts assessed the impact of sanctions on Russia’s plans for decarbonization. *Vedomosti*. Nov. 22, 2022. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2022/11/22/951444-otsenili-vliyanie-sanktsii-na-plani-po-dekarbonizatsii> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
 18. European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. European Commission. Jul. 14, 2021. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541 (accessed on 30.01.2023).
 19. Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 (‘European Climate Law’). *EUR-Lex Official Journal*. 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN> (accessed on 23.01.2023).
 20. National long-term strategies. European Commission. 2022. URL: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-long-term-strategies_en (accessed on 30.01.2023).
 21. Fit for 55. The EU’s plan for a green transition. European Council. 2021. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (accessed on 30.01.2023).
 22. Appunn K., Wettengel J. Germany’s climate action law. *Clean Energy Wire*. Jul. 12, 2021. URL: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-climate-action-law-begins-take-shape> (accessed on 23.01.2023).
 23. La nouvelle stratégie énergétique de la France. *Le Gouvernement Français*. 2022. URL: <https://www.gouvernement.fr/actualite/la-nouvelle-strategie-energetique-de-la-france> (accessed on 30.01.2023).
 24. Fedorenko I.N., Kuznetsova E.S. Tools for stimulating environmental innovations in the metallurgical industry. *Ekonomika prirodopol'zovaniya*. 2020;(4):4-15. (In Russ.). DOI: 10.36535/1994-8336-2020-04-1
 25. Sustainability indicators. *World Steel Association*. 2022. URL: <https://worldsteel.org/steel-topics/sustainability/sustainability-indicators/> (accessed on 30.01.2023).
 26. Pakhomova N.V., Richter K.K., Vetrova M.A. Global climate challenges, structural shifts in the economy and the development of initiative-taking strategies by businesses to achieve carbon neutrality. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = St. Petersburg University Journal of Economic Studies (SUJES)*. 2022;38(3):331-364. (In Russ.). DOI: 10.21638/spbu05.2022.301
 27. Global crude steel production by process route and scenario, 2019-2050. *IEA*. Oct. 26, 2022. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-crude-steel-production-by-process-route-and-scenario-2019-2050> (accessed on 30.01.2023).
 28. Mandova H., Patrizio P., Leduc S., Kjærstad J., Wang C., Wetterlund E., Kraxner F., Gale W. Achieving carbon-neutral iron and steelmaking in Europe through the deployment of bio-energy with carbon capture and storage. *Journal of Cleaner Production*. 2019;218:118-129. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.01.247
 29. Metal casting under pressure from society. *Interfax*. Dec. 28, 2021. URL: <https://www.interfax.ru/russia/813070> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
 30. Emission management. *EVRAZ*. URL: <https://www.evraz.com/ru/sustainability/environmental-stewardship/air-emissions/> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
 31. Annual report 2021. *Lipetsk: NLMK Group*; 2022. 412 p. URL: https://nlmk.com/upload/iblock/469/NLMK_AR2021_RUS.pdf (accessed on 25.01.2023). (In Russ.).

32. The future of metallurgy decarbonization: Challenges and solutions. Severstal. Nov. 24, 2021. URL: <https://vmeste.severstal.com/sustainability/budushchee-dekarbonizatsii-metallurgii-vyzovy-i-resheniya/> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
33. Magnitogorsk Iron and Steel Works shared plans to move towards carbon neutrality. Magnitogorsk Iron and Steel Works (MMK). Dec. 10, 2021. URL: <https://mmk.ru/ru/press-center/news/mmk-podelilsya-planami-po-dvizheniyu-k-uglerodnoy-neytralnosti-/> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
34. Operating results for 12 months and 4 quarter 2021. Metalloinvest. Jan. 25, 2022. URL: <https://www.metalloinvest.com/media/press-releases/628427/> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
35. On approval of the Strategy for the development of the metallurgical industry of the Russian Federation for the period up to 2030. Decree of the Government of the Russian Federation of December 28, 2022 No. 4260-r. Garant.ru. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963845/?ysclid=le8ammwhbw122339414> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
36. Draft operational plan for the implementation of Russia's low-carbon strategy. EnergiaVita. Feb. 11, 2022. URL: <https://energiavita.ru/2022/02/11/proekt-operacionnogo-plana-realizacii-nizkouglerodnoj-strategii-rossii/> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
37. Pulp and paper mills have every opportunity to decarbonize. RBC. Jun. 17, 2022. URL: <https://plus.rbc.ru/news/62ab4cdc7a8aa98ade293543> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
38. The United Nations recognized the work of environmentalists at the Arkhangelsk Pulp and Paper Mill as one of the best in Russia. 29.ru. Jun. 25, 2021. URL: <https://29.ru/text/ecology/2021/06/25/69990401/> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
39. Zarubina A.N., Ivankin A.N., Kuleznev A.S., Kochetkov V.A. Cellulose and nano cellulose. Review. *Lesnoi vestnik = Forestry Bulletin*. 2019;23(5):116-125. (In Russ.). DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-116-125
40. Nanocellulose market analysis. GidMaket. Mar. 17, 2020. URL: <https://gidmark.ru/cat1/marketingovoe-issledovanie-rynka-nanocellyulozy> (accessed on 30.01.2023). (In Russ.).
41. Gmoshinski I.V., Shipelin V.A., Khotimchenko S.A. Nanocellulose in the food industry and medicine: Structure, production and application. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2022;91(3):6-20. (In Russ.). DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-3-6-20

Сведения об авторе

Дмитрий Николаевич Ершов

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник департамента
международных финансов

Научно-исследовательский финансовый институт
Минфина России

127006, Москва, Настасьинский пер., д. 3,
стр. 2

Поступила в редакцию 08.02.2023

Прошла рецензирование 03.03.2023

Подписана в печать 30.03.2023

Information about Author

Dmitriy N. Ershov

PhD in Physical and Mathematical Sciences,
Senior Researcher at the Center for International
Finance

Scientific Research Institute of the Ministry
of Finance of the Russian Federation

3 Nastas'inskiy Lane, bldg. 2, Moscow 127006,
Russia

Received 08.02.2023

Revised 03.03.2023

Accepted 30.03.2023

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest
related to the publication of this article.