

Углеродный фактор в стратегическом развитии металлургии: отраслевые ограничения и новые возможности

С.В. Шабаева¹  , Г.В. Жукевич², М.Р. Рийконнен^{1,3}

¹ Петрозаводский государственный университет,
185910, Республика Карелия, Петрозаводск, просп. Ленина, д. 33, Российская Федерация

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
127434, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина),
197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, литера Ф, Российская Федерация
 sigova@petrsu.ru

Аннотация. Последнее десятилетие климатическая политика в целом и процессы декарбонизации, в частности, стали предметом интенсивных научных дискуссий. Наряду с исследованиями, обосновывающими необходимость сокращения выбросов парниковых газов, появляются работы, в которых климатическая повестка рассматривается как вид геоэкономического давления. Независимо от имеющихся точек зрения углеродный фактор существенно влияет на условия функционирования промышленности через изменение структуры издержек и технологических приоритетов, а также через новые условия международной торговли. Особенно сильно это сказывается на металлургии, которая относится к числу наиболее энергоемких отраслей промышленности с высоким уровнем «углеродного следа», и в то же время значима в структуре российского экспорта, что делает необходимым для нее анализ долгосрочных последствий декарбонизации. Цель исследования состоит в обосновании стратегической интерпретации «углеродного следа» на отраслевом уровне и выявлении его роли в формировании долгосрочных ориентиров развития металлургии. В качестве методологической основы для этого используется концепция стратегирования В.Л. Квинта, которая позволяет выстраивать развитие отрасли через систему фундаментальных ценностей, стратегических интересов и факторов внешней среды. Углеродная интенсивность металлургического производства должна рассматриваться как измеримый параметр промышленности, способствовать отражению изменений внешней среды на инвестиционных и технологических решениях.

Практическая значимость исследования связана с возможностью применения предложенного подхода при разработке и корректировке отраслевой и корпоративных стратегий развития металлургии и других отраслей промышленности (энергетики, нефтегазового сектора, транспорта, химической промышленности), при выборе направлений технологической модернизации, а также в целях развития циркулярных моделей производства.

Ключевые слова: металлургическая промышленность, отраслевое стратегирование, климатическая политика, циркулярная экономика, механизм трансграничного углеродного регулирования, CBAM, ESG-повестка, декарбонизация, углеродоемкость производства

Для цитирования: Шабаева С.В., Жукевич Г.В., Рийконнен М.Р. Углеродный фактор в стратегическом развитии металлургии: отраслевые ограничения и новые возможности. *Экономика промышленности*. 2026;19(3):388–403. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-3-1682>

The carbon factor in the strategic development of the metallurgical industry: industry-specific constraints and new opportunities

S.V. Shabaeva¹  , G.V. Zhukevich², M.R. Riikonen^{1,3}

¹ Petrozavodsk State University, 33 Lenin Ave., Petrozavodsk, Republic of Karelia 185910, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow 127434, Russian Federation

³ Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI” named after V.I. Ulyanov (Lenin),
5 Professora Popova Str., St. Petersburg 197022, Russian Federation

 sigova@petrsu.ru

Abstract. Over the past decade, climate policy in general and decarbonization processes in particular have become the subject of intense scholarly debate. Alongside studies substantiating the need to reduce greenhouse gas emissions, there is a growing body of research that views the climate agenda as a form of geoeconomic pressure. Regardless of these differing perspectives, the carbon factor significantly affects industrial operating conditions through changes in cost structures and technological priorities, as well as through new conditions governing international trade. Its impact is particularly pronounced in the metallurgical industry, which is among the most energy-intensive industries and has a substantial carbon footprint. At the same time, metallurgy plays an important role in Russia’s export structure, making it necessary to assess the long-term implications of decarbonization for the industry.

The objective of this study is to substantiate a strategic interpretation of the carbon footprint at the industry level and to identify its role in defining the long-term development priorities of the metallurgical industry. The study is methodologically grounded in V.L. Kvint’s concept of strategizing, which provides a framework for structuring industry development around fundamental values and strategic interests while taking into account factors in the external environment. The carbon intensity of metallurgical production should be treated as a measurable industry-level indicator that enables changes in the external environment to be reflected in investment and technology-related decisions.

The practical implications of this research pertain to its utility in formulating and iteratively adjusting industry and corporate development strategies within the metallurgical industry and other industries, including the energy, oil and gas, transport, and chemical industries. Furthermore, the proposed analytical framework informs decisions on technological modernization and supports the development of circular production models.

Keywords: metallurgical industry, industry strategizing, climate policy, circular economy, Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM, ESG agenda, decarbonization, carbon intensity of production

For citation: Shabaeva S.V., Zhukevich G.V., Riikonen M.R. The carbon factor in the strategic development of the metallurgical sector: Industry constraints and emerging opportunities. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2026;16(3):388–403. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2026-3-1682>

碳因素在冶金行业战略发展中的作用：行业限制与新机遇

S.V. 沙巴耶娃¹  , G.V. 茹克维奇², M.R. 里科宁^{1,3}

¹ 彼得罗扎沃茨克国立大学, 185910, 俄罗斯联邦卡累利阿共和国彼得罗扎沃茨克列宁大街33号

² 俄罗斯国立农业大学 – 莫斯科季米里亚泽夫农业科学院, 127434, 俄罗斯联邦莫斯科季米里亚泽夫大街49号

³ 圣彼得堡国立电子技术大学 (LETI), 197022, 俄罗斯联邦圣彼得堡波波夫教授大街5号F座

 sigova@petrsu.ru

摘要: 过去十年间, 气候政策总体上, 尤其是脱碳进程已经成为科学界激烈讨论的主题。除了论证减少温室气体排放必要性的研究以外, 也出现了一些将气候议程视为一种地缘经济压力的研究。无论观点如何, 碳因素通过改变成本结构和技术优先次序, 以及通过新的国际贸易规则对工业运

行条件产生着重大影响。而碳因素对冶金业的影响尤为明显，该行业属于能源密集型行业之一，碳足迹高，同时在俄罗斯出口结构中占有重要地位，因此对冶金业脱碳的长期影响进行分析变得十分必要。研究的目的是在行业层面上论证“碳足迹”的战略解读，并揭示其在塑造冶金业长期发展目标中的作用。研究采用了V.L. 昆特的战略化概念作为方法论基础，该概念通过一套基本价值体系，战略利益和外部环境因素来构建行业发展路径。冶金生产的碳强度应被视为一个可衡量的行业参数，有助于反映外部环境变化对投资和技术决策的影响。研究的实际意义在于：所提出的方法可用于制定和调整冶金业及其他工业部门（例如能源，石油天然气，交通，化工等）的行业和企业发展战略，也可在选择技术改造方向，发展循环生产模式时使用。

关键词: 冶金工业, 行业战略化, 气候政策, 循环经济, 跨境碳调控机制, CBAM, ESG议程, 脱碳, 生产碳强度

Введение

Климатическая повестка в настоящее время является одним из главных факторов трансформации промышленности, который выражается через ESG-политику, прямые и косвенные международные требования, экологические стандарты, а также национальные и корпоративные стратегии и программы. Дискуссионным вопросом в данном направлении остаются механизмы углеродного регулирования, поскольку за внешней однозначностью требований декарбонизации можно увидеть и ряд спорных моментов. На данный момент нет четкого понимания: углеродное регулирование – это объективная необходимость или инструмент геоэкономической конкуренции? Насколько отрасли российской промышленности, характеризующиеся высокой углеродоемкостью (энергетика, металлургия, химическая промышленность, соответствуют новой системе экологических требований?

По данным Всемирной метеорологической организации, концентрация углеродного газа (CO_2) в 2024 г. превысила 420 ppm¹, и это является обоснованием для введения жестких климатических мер. Однако, как справедливо отмечают критики прямолинейной интерпретации таких данных – А.М. Фадеев, А.А. Ильинский, М.В. Афанасьев, сама по себе концентрация парниковых газов не имеет особого значения для использования конкретных политических инструментов. Более того, за унификацией требований (тарифные барьеры, углеродные налоги) нередко стоят протекционистские интересы [1].

Металлургия представляет собой одну из наиболее энергоемких отраслей мировой экономики. Согласно оценкам Международного энергетического агентства, она обеспечивает

около четверти глобальных промышленных выбросов CO_2 ². При этом именно металлургия формирует материальную основу энергетического перехода, так как производство стали, алюминия и других металлов требуется для развития возобновляемой энергетики, электротранспорта и инфраструктуры хранения энергии³ [2]. Именно в период глобального энергетического перехода активно осуществляется развитие возобновляемой энергетики, электротранспорта и инфраструктуры хранения энергии – и все это требует значительного увеличения производства ряда металлов⁴. По оценкам Fitch Ratings – одного из трех крупнейших мировых рейтинговых агентств – спрос на металлы для «зеленых» технологий к середине XXI в. может вырасти на 150–250 %⁵, но высокая углеродоемкость производства (7–9 % глобальных выбросов) ограничивает экспортный потенциал в условиях введения углеродных налогов⁶.

В экономике России отрасль очень важна: доля металлургической продукции в экспор-

² International Energy Agency. Iron and Steel Technology Roadmap: Towards more sustainable steelmaking: report International Energy Agency. Paris: IEA. 2020. 24 p. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap> (дата обращения: 09.12.2025).

³ Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4260-р. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963845/> (дата обращения: 09.12.2025).

⁴ Fitch wire. Energy transition boosts global long-term demand for metals. Fitch Ratings. October 5, 2022. Режим доступа: <https://www.fitchratings.com/research/corporate-finance/energy-transition-boostsglobal-long-term-demand-for-metals-05-10-2022> (дата обращения: 15.01.2025).

⁵ Там же.

⁶ International Energy Agency. Iron and Steel Technology Roadmap: Towards more sustainable steelmaking: report. Paris: IEA; 2020. 24 p. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap> (дата обращения: 09.12.2025).

¹ World Meteorological Organization. Greenhouse Gas Bulletin 2024. WMO. 28 October 2024. Режим доступа: <https://wmo.int/news/media-centre/greenhouse-gas-concentrations-surge-again-new-record-2023> (дата обращения: 04.01.2026).

те составляет 15–18 %⁷ с тенденцией к росту на фоне снижения доли топливно-энергетических товаров. Наша страна занимает 5-е место в мире по выплавке стали, 2-е по производству стальных труб и алюминия, 3-е место по производству титана⁸. Деятельность предприятий является основой экономической специализации промышленных регионов, чем обеспечивает значимый вклад в ВРП регионов и ВВП страны, поддерживая высокую занятость населения.

Российская металлургия также характеризуется начавшейся технологической модернизацией, включая внедрение низкоуглеродных решений для производства стали и алюминия [3]. Однако ситуация осложняется текущей конъюнктурой. Так, в 2025 г. внутренний спрос на продукцию черной металлургии в России снизился на 14 % и составил 38,9 млн т – минимальный уровень с 2011 г. Сокращение спроса сопровождается падением производства продукции высоких переделов (ферросплавы –13,3 %, легированные стали –14,1 %, трубы и профили –12,3 %)⁹, что отражает замедление инвестиционной активности в машиностроении, строительстве и инфраструктурных отраслях. Наблюдается снижение внутренних цен на металлургическую продукцию: в ноябре 2025 г. цены на горячекатаный прокат снизились на 18,7 % г/г, а на чугун – на 29 %¹⁰.

В текущих условиях климатическая повестка остается сильным фактором давления и развития одновременно. Как показал расширенный тематический обзор исследований по значению ESG-политики И.В. Манаевой, Ю.Л. Растопчиной, Е.И. Ковалевой [4] – ее конкретное влияние на функционирование бизнеса очень велико. Следование ESG-принципам влияет на рост стоимости компаний, им «прощают» отсутствие бурного роста финансовых показателей, а также предоставляются шансы на преодоление текущего кризиса при соответствии «зеленой» повестке.

⁷ Коробейников Д. Какие изменения во внешней торговле России произошли в 2025 году: обзор. Федерал-Пресс. 2 января 2026. Режим доступа: <https://fedpress.ru/article/3419212> (дата обращения: 04.01.2026).

⁸ Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4260-р. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963845/> (дата обращения: 09.12.2025).

⁹ Центр стратегических разработок. Металлургия – зеркало реального сектора экономики, и оно показывает рецессию. CSR.ru. 4 февраля 2026. Режим доступа: <https://www.csr.ru/ru/news/metallurgiya-zerkalo-realnogo-sektora-ekonomiki-i-ono-pokazyvaet-retsessiyu/> (дата обращения: 06.02.2026).

¹⁰ Там же.

Как отмечают А.Е. Неволин, А.Е. Череповцын и др., на данный момент одни предприятия рассматривают климатические требования как внешний нормативный фактор, требующий скорейшей адаптации производственных процессов, другие компании используют «зеленую» повестку как стратегическую возможность технологического развития [5]. При этом процесс декарбонизации (или «углеродный след») начинает играть двоякую роль, выступая и как отдельный экологический индикатор, и как элемент, влияющий на структуру издержек. Его главное воздействие заключается в изменении правил доступа к рынкам, что, в свою очередь, трансформирует инвестиционные решения.

В связи с этим анализ «углеродного следа» приобретает стратегическое значение для развития российской металлургии. Выбор методологии стратегирования В.Л. Квинта в качестве теоретической базы исследования обусловлен необходимостью рассмотрения углеродного фактора не изолированно, а в связке с фундаментальными ценностями отрасли и оценкой внешних шоков, которые в последние годы (санкции, тарифные барьеры, резкие изменения логистики) оказывают на металлургию значимое влияние наряду с долгосрочными климатическими трендами. Целью статьи стало обоснование стратегической интерпретации «углеродного следа» и выявление его роли в выборе технологических траекторий развития металлургического сектора.

Материалы и методы

Исследование опирается на концепцию стратегирования В.Л. Квинта, которая позволила разграничить текущие отраслевые задачи и стратегические интересы, а также интерпретировать углеродный фактор как элемент внешней среды, влияющий на долгосрочный выбор технологической траектории металлургии.

Для анализа внешней среды выделены три уровня – геоэкономический, институционально-нормативный и технологический. Их выбор обусловлен логикой воздействия углеродного фактора на отрасль: от изменения условий конкуренции – через их закрепление в институциональных и нормативных требованиях и к выбору технологических решений на уровне производства. Такое разграничение позволяет выделить факторы, которые отрасль практически не может изменить, от регуляторных рамок ее функционирования и технологических решений, позволяющих сохранять возможность выбора. Для целей настоящего исследования – выявления влияния углеродного фактора на технологический и стра-

тегический выбор металлургии – дальнейшая дегализация внешней среды не требовалась.

Анализ Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации до 2030 г. был осуществлен с точки зрения соответствия логике стратегирования: заявленные цели, проблемы и направления развития сопоставлялись с отраслевыми ценностями, стратегическими интересами и приоритетами. При их выделении учитывались долгосрочная устойчивость, согласованность с национальными интересами, влияние на жизнеспособность отрасли и возможность количественно связать соответствующий интерес с углеродным фактором.

Для технологического блока проведено сопоставление углеродной интенсивности доменного производства, электросталеплавленного производства на основе лома, DRI + EAF на природном газе и водородного DRI. Отдельно рассмотрены направления циркулярной трансформации металлургии. Для использования вторичного сырья, замкнутых материальных циклов, переработки побочных продуктов и развития инфраструктуры вторичных ресурсов сопоставлялись стратегический эффект, влияние на «углеродный след» и ограничения внедрения. Такой подход позволил перейти от сопоставления углеродной интенсивности технологий к оценке долгосрочных последствий технологического выбора.

Исходный массив материалов включал российские стратегические и нормативные документы, регулирующие развитие металлургии, промышленную, экологическую и энергетическую политику; документы ЕС по углеродному регулированию, включая EU ETS, CBAM и European Green Deal; GHG Protocol; данные и оценки International Energy Agency, World Steel Association и Росстата.

Результаты исследования

Стратегические интересы отрасли. Отраслевое стратегирование в России применяется с начала 2000-х годов, а его системное правовое регулирование было закреплено Федеральным законом № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», принятым в 2014 г.¹¹. В публикациях Н.И. Сасаева хорошо проработана тема отраслевого стратегирования с критикой существующего государственного подхода, когда исходной точкой развития рассматриваются проблемы и вызовы стратегируе-

мого объекта [6]. В рассматриваемом случае долгосрочные цели подменяются краткосрочными, и при их успешном достижении стратегия перестает быть актуальной. Подобный подход препятствует планомерному достижению стратегических ориентиров.

Анализ «Стратегии развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» (далее – Стратегия развития металлургии РФ)¹² показал, что документ базируется на большом количестве федеральных законов, связанных с экономическим, промышленным и социальным развитием, национальной и экономической безопасностью, научно-технологическим развитием и др. По тексту предусмотрены внутриотраслевые приоритеты для металлургии и смежных отраслей. Кроме того, указывается на согласованность отдельных мер с «Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» (далее – Транспортная стратегия РФ)¹³ и Энергетической стратегией России¹⁴, Стратегией развития металлургической промышленности¹⁵, что следует рассматривать как сильную сторону Стратегии развития металлургии РФ. Основная ее часть сфокусирована на проблемах текущего состояния и развития отрасли, которые рассматриваются как отправная точка целеполагания. Углеродное регулирование представлено как одно из 9 проблем развития металлургической промышленности. Приведенные утверждения делают Стратегию развития металлургии больше тактическим, нежели стратегическим документом, ориентированным на решение обозначенных проблем [6].

В целях преодоления указанного недостатка представляется оправданной смена существую-

¹² Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4260-р. Режим доступа: <http://government.ru/docs/47482/> (дата обращения: 09.12.2025).

¹³ Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. Режим доступа: <http://government.ru/docs/41897/> (дата обращения: 09.12.2025).

¹⁴ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/ministry/energy-strategy> (дата обращения: 09.12.2025).

¹⁵ Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4260-р. Режим доступа: <http://government.ru/docs/47482/> (дата обращения: 09.12.2025).

¹¹ Федеральный закон от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» (ред. от 13.07.2024). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_164841/ (дата обращения: 09.12.2025).

щего методологического подхода к стратегированию на более системный и доказавший свою высокую практическую значимость подход академика В.Л. Квинта, который отмечает: «Стратегии должны выявлять истинные ценности, интересы и приоритеты стратегизируемого объекта» [7]. Для металлургии это принципиально: если приоритеты задаются только как реакция на внешние требования, отрасль неизбежно оказывается в позиции догоняющего.

Выбор приоритетов объективно является долгим и сложным процессом, связанным с изначальным поиском и анализом ценностей стейкхолдеров с последующим преобразованием в их интересы и только после этого формулированием приоритетов. Выбор приоритетов – это первый шаг в стратегировании, самый ответственный и самый сложный, так как именно приоритеты отражают «практический смысл стратегии» [7].

В Стратегии развития металлургии РФ в явном виде ценности и стратегические интересы отрасли не обозначены, но, исходя из цели, структуры и контекстного анализа документа, явно выделяется ряд приоритетных направлений, вокруг которых она сконцентрирована. К основным стратегическим интересам, или приоритетам развития, сформулированным в Стратегии развития металлургии, относятся:

1) достижение устойчивого развития металлургии с одновременным выполнением трех условий: обеспечение экономики металлом, сохранение экспортного потенциала, адаптация к внешним ограничениям (санкции, рынки);

2) переориентация на внутренний рынок (основания для этого – рост внутреннего спроса; опора на строительство, инфраструктуру, машиностроение; частичная компенсация падения объемов экспорта);

3) обеспечение сырьевой безопасности за счет развития собственной ресурсной базы, снижения зависимости от импорта и преодоления проблемы дефицитных металлов;

4) развитие продукции высоких переделов и импортозамещение, так как есть потенциал, особенно – для продукции с высокой добавленной стоимостью;

5) технологическое развитие и модернизация – ключевая задача для НИОКР.

Отмеченные приоритеты стратегии не симметричны, с разной степенью проработанности и разными основаниями. Очень мало внимания уделено прорывным технологиям, цифровизации и декарбонизации. Первый и второй приоритеты находятся в противоречии, так как сложно одновременно сохранять объем экспор-

та и наращивать внутренний рынок. Механизмы для этого не разведены и не прописаны. При таких обстоятельствах углеродные ограничения могут привести к сокращению доступа российской металлургии к стратегически значимым экспортным рынкам. Системная климатическая логика в документе отсутствует, «Стратегия низкоуглеродного развития РФ» упоминается, но без какой-либо интеграции в цели металлургии. Неоднократно говорится о санкциях, а об углеродных барьерах – практически ничего нет. Технологическая декарбонизация рассматривается как научно-техническая задача на перспективу, а не как стратегический вопрос промышленного развития.

По сути, указанные приоритеты направлены на адаптацию отрасли к ухудшению внешней среды. Актуальная версия Стратегии развития металлургии выглядит как производственно-ресурсная и индустриально-политическая, в то время как международным стандартом позиционирования отрасли уже стала измеримая ESG-модель¹⁶, которая базируется на экологической (*Environmental Performance*), социальной (*Social Performance*) и экономической (*Economic Performance*) эффективности.

Предположительно, Стратегия развития металлургии РФ имеет такой вид из-за методологических недостатков разработки: в основу формулирования приоритетов не были положены отраслевые ценности и стратегические интересы. Анализ внешней среды был ограничен отдельными факторами, представленными в виде угроз, ESG-повестка как глобальный внешний тренд не попала в поле анализа.

В связи с выше сказанным авторами была предпринята попытка заполнить указанный пробел Стратегии развития металлургии рассмотрением внешней среды с точки зрения ESG-требований и формулирования возможных ценностей и интересов, которые должны были бы быть учтены при выявлении приоритетов развития металлургии в России.

Внешняя среда и отраслевые ценности. Особенности стратегического развития металлургии определяются многочисленными факторами внешней среды, которые, с точки зрения стратегического анализа оказывают различное влияние на отрасль – от внешних рамок функционирования до нормативного регулирования

¹⁶ World Steel Association. World Steel in Figures 2025: statistical report. 2025. Режим доступа: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/> (дата обращения: 09.12.2025).

и целесообразности выбора конкретной производственной технологии. В этом случае внешняя среда не может рассматриваться как единый перечень параметров. Более корректным является выделение нескольких групп факторов по уровню их влияния на отрасль: геоэкономические, институционально-нормативные и технологические [8–10]. Очевидно, что приведенная структура не исчерпывает всего многообразия воздействий внешней среды на отрасль, но для выявления роли углеродной повестки на данном этапе исследования представляется достаточным. Анализ построен на долгосрочном горизонте до 2050 г., соответствующем целям энергоперехода¹⁷, с акцентом на углеродную повестку.

Внешние параметры функционирования отрасли задает *геоэкономический (макро-) уровень* – отрасль его не может изменить, но обязана учитывать [11]. На этом уровне происходит трансформация структуры конкурентных преимуществ, так как углеродная интенсивность продукции начинает выполнять функцию нетарифного барьера, смещая конкуренцию с ценовых параметров на структурные характеристики производства. Параллельное формирование «углеродных клубов» (*carbon clubs*) [12; 13] и активная промышленная политика стран Азии (в первую очередь Китая [2]) создают эффект «разноскоростной» декарбонизации: одни рынки работают исключительно с «зелеными» преференциями, другие – наращивают масштабы низкоуглеродного производства, изменяя глобальные цепочки поставок. Это свидетельствует о том, что в мировой торговле металлопродукцией углеродоемкость оказывает прямое влияние на перераспределение потоков продукции между рынками с разными климатическими режимами. В то же время важно понять, каким образом углеродный фактор воздействует непосредственно на поведение предприятий: на уровне геоэкономики есть давление извне, но нет механизма включения в издержки предприятий. Промежуточным звеном становится нормативное закрепление климатических требований в виде правил и процедур на институционально-нормативном уровне.

Институционально-нормативный уровень охватывает механизмы климатической политики: углеродное ценообразование, торговлю квотами на выбросы парниковых газов (Emissions

Trading System, ETS), требования отчетности (EU Green Deal¹⁸). Для металлургии это означает, что углеродная интенсивность производства становится количественно измеримым параметром, который интегрирован в механизмы трансграничного регулирования (CBAM, Carbon Border Adjustment Mechanism¹⁹, национальные системы углеродного ценообразования).

Для этого уровня важна динамика адаптации национальных режимов. Так, европейский механизм задает внешнюю рамку, но конкретные формы регулирования уже являются предметом национального и отраслевого регулирования. В России, например, это выражается в формировании системы углеродной отчетности (карбоновые полигоны, Приказ Минприроды РФ № 610 от 15.10.2024²⁰) и подготовке к потенциальному внутреннему углеродному ценообразованию.

Как видим, первые два уровня анализа фиксируют внешнее ESG-давление и его нормативное закрепление. Отраслевые возможности выбора и принятия решений будут сосредоточены на технологическом уровне.

Технологический уровень – это область актуальных и перспективных направлений развития металлургии, среди которых: повышение энергоэффективности, рост доли вторичного сырья, развитие гибридных цепочек и цифровых систем учета выбросов. Именно на этом уровне отрасль может осуществлять свой выбор: каким образом принимать и учитывать давление внешней среды и на базе этого формировать конкурентные преимущества [14; 15]. В отличие от геоэкономических и институциональных рамок здесь воз-

¹⁸ Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Document 52019DC0640. Brussels. December 11, 2019. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (дата обращения: 04.01.2026).

¹⁹ Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism. Document 32023R0956. Official Journal of the European Union. Luxembourg. May 16, 2023. L 130. P. 52–104. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj> (дата обращения: 08.12.2025).

²⁰ Приказ Минприроды России от 15.10.2024 № 610 «О внесении изменений в порядок подготовки кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, утвержденный приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 25.04.2022 № 298» (зарегистрирован в Минюсте России 08.11.2024 № 80082). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_490192/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddd518/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 08.12.2025).

¹⁷ International Energy Agency. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector: report. Paris: IEA; 2021. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 09.12.2025).

можен активный выбор траекторий – от модернизации доменного производства до внедрения водородной металлургии²¹.

Существующие технологические решения для декарбонизации различаются по степени зрелости и масштабам внедрения. В сегменте водородной металлургии наиболее актуальны пилотные проекты, которые демонстрируют переход от лабораторных стадий (TRL 6–7) к опытно-промышленным: HYBRIT (Швеция) с полным циклом от водорода до губчатого железа, SALCOS (Германия) с запуском установки DRI в 2026 г., а также пилотная линия Ansteel (Китай) мощностью 10 тыс. т «зеленого» железа в год²².

Наряду с изменением основных технологий разрабатываются цифровые инструменты управления выбросами, позволяющие снизить неопределенность при оценке углеродоемкости. В отличие от зарубежных аналогов, которые ориентированы на структурную верификацию выбросов, российские решения направлены на создание потенциала для интеграции с будущими системами углеродного регулирования. Передовые проекты на этом направлении – 50 автоматических систем контроля Магнитогорского металлургического комбината с машинным зрением²³, предиктивная система «Норникеля» Axioma²⁴.

Проведенный анализ внешней среды с учетом ESG-повестки показывает, что требования декарбонизации становятся критическими для ведения внешней торговли, они унифицированы на глобальном уровне, но пути их реализации, регуляторные режимы и степень зрелости технологий остаются разнородными. Важно отметить, что при этом внешняя среда с ее возрастающими требованиями должна рассматриваться не

только как угроза для металлургической отрасли нашей страны, но как возможность вовремя отследить и зафиксировать ключевой тренд и учитывать его при формулировании приоритетов и конкурентных преимуществ.

Таким образом, значимым для металлургии внешним трендом является требование декарбонизации, обусловленное ESG-повесткой. Проведенный анализ ряда международных требований, федеральных и отраслевых стратегических документов позволил выделить отраслевые ценности и стратегические интересы для металлургии (**табл. 1**). Критериями их выделения стали те, которые рекомендует В.Л. Квинт [16]: устойчивость, согласованность с национальными интересами и влияние на долгосрочную жизнеспособность отрасли. Дополнительным критерием отбора стала возможность численного отражения связи с углеродным фактором, как того требует ESG-модель World Steel Association (блок Экологическая эффективность). Нужно отметить, что не все ориентиры, представленные в отраслевых документах, рассматриваются в данном исследовании как отраслевые ценности. Такие установки, как загрузка мощностей, экспортная поддержка, импортозамещение или стабилизация текущего выпуска, отражают реакцию отрасли на внешние шоки и не будут ценностями в стратегическом смысле.

Выделенные ценности и интересы (**табл. 1**) образуют полностью гармоничную систему. Так, ориентация на конкурентоспособность в краткосрочном периоде может поддерживать решения, минимизирующие текущие издержки, тогда как ценности экологической безопасности и межпоколенческой устойчивости, напротив, требуют капиталоемкой перестройки производственной базы. На примере этих ценностей видно, что давление внешней среды можно рассматривать через призму возможностей развития, выделять более широкую и актуальную базу для последующего формулирования приоритетов. Кроме этого, уже на начальных этапах стратегирования можно закладывать предварительные количественные параметры, важные для последующего учета углеродного фактора.

«Углеродный след» и возможности его регулирования. Под «углеродным следом» (*carbon footprint*) в данном исследовании понимается количественная метрика, отражающая совокупный объем парниковых газов, прямо или косвенно связанных с деятельностью субъекта (организации, продукта, услуги, отрасли или отдельного человека), приведенный к эквиваленту диоксида углерода (CO₂-экв) за определенный период или

²¹ International Energy Agency. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector: report. Paris: IEA. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 09.12.2025).

²² SSAB. HYBRIT: Toward Fossil-Free Steel. Stockholm. 2024. Updated daily. Available at: <https://www.hybritdevelopment.se/en/> (accessed on 04.01.2026); Salzgitter AG. SALCOS®. Salzgitter Low CO₂ Steelmaking: Project Roadmap and Technical Details. Salzgitter. December 10, 2024. Режим доступа: <https://www.salzgitter-ag.com/en/sustainability/salcos.html> (дата обращения: 04.01.2026).

²³ ММК продолжает внедрение автоматизированных систем контроля выбросов. ЭКОТЕХ-ПРО. 15 сентября 2025. Режим доступа: <https://ecotech-pro.ru/news/novosti-proektov/mmk-prodolzhaet-vnedrenie-avtomatizirovannykh-sistem-kontrolya-vybrosov/> (дата обращения: 17.08.2026).

²⁴ Норникель представил систему мониторинга промышленных выбросов Axioma. Металлоснабжение и сбыт: информационно-аналитический журнал. 5 марта 2025. Режим доступа: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/170350> (дата обращения: 17.08.2026).

на единицу функциональной единицы²⁵. Само по себе понятие «углеродного следа» в промышленности может использоваться как формальная отчетная метрика и как обобщенная характеристика производственной системы, что часто затрудняет интерпретацию последующих оценок.

В ходе анализа внешней среды было установлено, что традиционными способами регулирования «углеродного следа» являются инструменты геоэкономического и институционально-нормативного уровня: законодательные запреты, механизмы ценообразования, включая систему торговли квотами и углеродные налоги.

²⁵ International Energy Agency. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector: report. Paris: IEA; 2021. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 09.12.2025).

Проблема заключается в том, что перечисленные инструменты направлены преимущественно на ограничение выбросов и не формируют долгосрочных механизмов структурной трансформации отрасли.

«Углеродный след» обычно рассматривается через границы учета (Scope 1–3), установленные стандартом GHG Protocol²⁶, который стал методологической основой для большинства международных климатических отчетов и исследований, указанных ранее. При этом Scope 1 и Scope 2 – прямые и косвенные выбросы соответственно от потребленной энергии, которые предприятия

²⁶ The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition). Washington, DC: World Resources Institute. 2004. Режим доступа: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard> (дата обращения: 04.01.2026).

Таблица 1 / Table 1

Отраслевые ценности и стратегические интересы металлургической отрасли

Industry-level values and strategic interests of the metallurgical industry

Отраслевые ценности	Стратегические интересы	Связь с углеродным фактором
Экологическая безопасность и сохранение здоровья населения*	Снижение экологических рисков, сохранение социальной лицензии	Обязательная верификация выбросов Scope 1–2 (ISO 14064); риск штрафных санкций за превышение нормативов НДТ (наилучших допустимых технологий)
Долгосрочная устойчивость и межпоколенческая ответственность*	Интеграция климатического фактора в инвестиционную политику; управление активами на горизонте 2050 г.	Учет углеродной цены в NPV (Net Present Value – чистая дисконтированная стоимость) проектов
Конкурентоспособность отрасли**	Сохранение доли на внешних рынках (Азия, Ближний Восток)	Удельные выбросы (т CO ₂ /т стали) как фактор себестоимости
Технологическое развитие***	Внедрение низкоуглеродных технологий	Снижение удельных выбросов на 30–90 % в зависимости от технологии
Ресурсная устойчивость и экономическая безопасность****	Снижение внешней зависимости по критическому сырью; развитие переработки вторичного сырья	Сокращение Scope 3 за счет логистики и использования лома

Источник: составлено авторами на основе анализа нормативно-правовой базы РФ и отраслевых стратегических документов:

* Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». В ред. от 21.07.2002 № 219-ФЗ. Гл. II. Ст. 133; в ред. 2014. Гл. XXX. Ч. 1. Ст. 4220. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 09.12.2025);

** Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.» Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402894476/> (дата обращения: 09.12.2025); Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism (CBAM). 2023. L 130. P. 1–30. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0956> (дата обращения: 09.12.2025);

*** Федеральный закон от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации». Часть I. Ст. 41. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173089/ (дата обращения: 09.12.2025); World Steel Association. Steel Statistical Yearbook 2023: statistical report. 2023. Режим доступа: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/steel-statistical-yearbook/> (дата обращения: 09.12.2025);

**** World Steel Association. Steel Statistical Yearbook 2023: statistical report. 2023. Режим доступа: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/steel-statistical-yearbook/> (дата обращения: 09.12.2025).; Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (ред. от 31.07.2025) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Гл. 48. Ст. 5711. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 09.12.2025).

Source: compiled by the authors based on an analysis of the Russia's legal and regulatory framework and industry strategy documents

предпочитают контролировать в силу их понятности для учета и оценки. Score 3 – это выбросы вне границ предприятия, но связанные с его деятельностью, т.е. прочие косвенные выбросы по цепочке создания стоимости. Для металлургии особенно важен именно этот параметр, так как согласно международным отчетам²⁷ доля выбросов, приходящаяся на Score 3, может превышать 40 % совокупного углеродного «следа» отрасли. Это указывает на то, что значительная часть решений должна формироваться вне производственной системы, а также менять конфигурацию цепочек поставок, переработки и использования продукции. Именно на этом аспекте делается акцент и в официальных европейских документах (GHG Protocol, Дорожная карта Net Zero by 2050²⁸), где неоднократно подчеркивается, что Score 3 сложнее контролировать, так как требуется координация множества участников и системные изменения за пределами предприятия.

Сопоставление выбросов показывает, что границы между ними могут быть размыты (Score 2 и Score 3), часть из них может не соотноситься с конкретной производственной операцией, поэтому нельзя однозначно относить ее к отдельному этапу технологического процесса. Также почти невозможно локализовать «углеродный след» в пределах отдельного производства из-за его распределения между участниками цепочки создания стоимости и отсутствия принадлежности кому-то одному в полном объеме.

GHG Protocol показывает, «что учитывать», но не дает полной конкретики, «как именно». Это стало причиной для появления разных подходов к трактовкам «углеродного следа», особенно в рамках Score 3. Один из них рассматривает этот параметр как инструмент ESG-отчетности и его оценки углеродного следа [17], другой представляет Score 3 как инструмент управления поставщиками и выбора наиболее дружественной ESG-логистики [18]. Третий – выбросы определяются не отдельной технологией, а структурой всей системы производства со смещением фокуса на материальные потоки, замыкание ресурсов и переработку [19].

В рамках данного исследования описание производства как последовательности изолированных операций оказывается очень ограниченным, поэтому более содержательной представляется модель, в которой можно учитывать движение материалов между стадиями и их повторное вовлечение в производство. Описанный подход обычно связывают с концепцией циркулярной экономики, ориентированной на замыкание материальных потоков и продление жизненного цикла продукции [20; 21]. Для металлургии это позволяет снизить углеродную интенсивность продукции и изменить структуру производственных процессов, повышая тем самым ресурсную автономию.

Наиболее наглядно изменение углеродного профиля при переходе к вторичным ресурсам прослеживается в алюминиевой промышленности, где различие между первичным и вторичным производством особенно велико. Так, углеродная интенсивность производства первичного алюминия составляет порядка 12–15 т CO₂-экв. на 1 т металла, тогда как при использовании вторичного сырья – 0,4–0,6 т CO₂-экв²⁹. Разрыв в 25–30 раз является значимым, и новая конфигурация цепочки создания стоимости (использование вторичного сырья вместо первичного) может изменить углеродный профиль продукции. Данный пример является показательным, но он не гарантирует таких же высоких значений в других сегментах металлургии. Для металлургии в целом аналогичный потенциал будет связан с долей лома, выбором энергоносителя и технологической схемы, которые характеризуют различия в конфигурации производственных систем. Таким образом, переход к вторичным ресурсам связан с рядом структурных и институциональных ограничений, которые необходимо учитывать при принятии решений.

Несмотря на указанные ограничения, показатели углеродной интенсивности могут использоваться для базового сравнения и оценки последствий альтернативных технологических и инвестиционных решений (**табл. 2**). Сопоставление технологий в данном случае интересно также для понимания того, насколько различается сама структура производственных систем по типам потоков, зависимости от первичного сырья, наличию возвратных контуров и распределению выбросов.

²⁷ EUROMETAL. Report: coal-based steelmaking more than double green plans. EUROMETAL. October 27, 2023. Режим доступа: <https://eurometal.net/report-coal-based-steelmaking-more-than-double-green-plans/> (дата обращения: 08.12.2025).

²⁸ International Energy Agency. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector: report. Paris: IEA. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 09.12.2025).

²⁹ World Steel Association. Steel Statistical Yearbook 2023: statistical report. Режим доступа: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/steel-statistical-yearbook/> (дата обращения: 09.12.2025).

Таблица 2 / Table 2

Сравнение углеродной интенсивности технологических альтернатив

Comparison of carbon intensity across alternative steel production routes

Технология	Углеродная интенсивность (т CO ₂ /т стали)	Потенциал снижения
Доменная печь	1,9–2,3	Базовый уровень
Электropечь (лом)	0,3–0,7	70–80 %
DRI* + EAF** (природный газ)	1,2–1,5	20–40 %
Водородный DRI	0,1–0,4	85–95 %

Обозначение: * DRI (*Direct Reduced Iron*) – прямое восстановление железа; ** EAF (*Electric Arc Furnace*) – электродуговая печь.

Источник: составлено авторами на основе анализа нормативно-правовой базы РФ и отраслевых стратегических документов: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4260-р «Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г.» Гл. I. Ч. II. Ст. 145. Режим доступа: <http://government.ru/docs/47482/> (дата обращения: 09.12.2025); Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.». Режим доступа: <http://government.ru/docs/43432/> (дата обращения: 09.12.2025); Окружающая среда: статистические данные. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 04.01.2026).

Source: compiled by the authors based on an analysis of the Russia's legal and regulatory framework and industry strategy documents.

Приведенные в табл. 2 значения могут существенно варьироваться в зависимости от региона, условий, производства³⁰, однако сопоставление технологических альтернатив показывает: переход от доменного производства к электроплавильным технологиям позволяет снизить углеродоемкость более чем на 70 %, и это направление остается наиболее реалистичным для масштабирования. Водородные технологии дают потенциал сокращения до 85–95 %, но на данный момент решения об использовании данной технологии еще находятся в стадии разработки.

³⁰ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4260-р «Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г.» Гл. I. Ч. II. Ст. 145. Режим доступа: <http://government.ru/docs/47482/> (дата обращения: 09.12.2025).

В России эти механизмы пока находятся в стадии обсуждения и научного поиска³¹ [22]. В Стратегии развития металлургии РФ есть тезисы о вторичном сырье, но без детальной проработки. Циркулярная экономика упоминается косвенно, хотя в мировой практике это один из основных инструментов снижения выбросов. В России у циркулярной экономики существует хороший потенциал – по данным Росстата, ежегодный объем отходов горнодобычи в России превышает 2 млрд т³², это именно тот ресурс, который мог бы быть вовлечен в оборот.

Различия в углеродной интенсивности сами по себе еще не показывают, каким образом соответствующие технологии меняют положение отрасли на долгосрочном горизонте. Каждое решение характеризуется большим числом параметров как для краткосрочного, так и для долгосрочного периодов, для которых важное значение будут иметь положительные последствия или стратегические эффекты каждого решения. Вариант логической цепочки перехода от технологического сопоставления к стратегическим эффектам циркулярной трансформации представлен в табл. 3.

Наибольший вклад в снижение углеродоемкости дает использование вторичного сырья (60–70 % для стали, до 95 % для алюминия), тогда как переработка побочных продуктов влияет преимущественно на показатель Score 3 (5–12 %) ³³, не давая сопоставимого эффекта. Это указывает на обоснованность дифференцированного подхода: если снижение значений показателей Score 1 и 2 достигается технологическими решениями, то уменьшение Score 3 требует изменения цепочек поставок и межотраслевой кооперации. В данном случае переход к циркулярным моделям проявляется как технологическое решение и как способ изменения организации отрасли. Очевидно, это будет сопряжено с ростом капитальных затрат и организационной сложностью, включая дефицит качественного лома, нормативные барьеры и др.

³¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.». Режим доступа: <http://government.ru/docs/43432/> (дата обращения: 09.12.2025).

³² Окружающая среда: статистические данные. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 04.01.2026).

³³ World Steel Association. Steel Statistical Yearbook 2023. World Steel Association. Brussels: worldsteel Committee on Economic Studies. 2023. 136 p. Режим доступа: <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/steel-statistical-yearbook/> (дата обращения: 12.12.2025).

Таблица 3 / Table 3

Стратегические эффекты циркулярной экономики для металлургической отрасли

Strategic implications of the circular economy for the metallurgical industry

Направление циркулярной трансформации	Стратегический эффект	Влияние на «углеродный след»	Ограничения внедрения
Использование вторичного сырья (лом, скрап)	Снижение зависимости от импорта железорудного сырья; стабилизация себестоимости	Снижение удельных выбросов на 60–70 % (сталь); до 95 % (алюминий)	Дефицит качественного лома в РФ; потребность в сортировке
Создание замкнутых материальных циклов на предприятиях	Снижение затрат на сырье и экологические платежи	Снижение удельных выбросов за счет сокращения первичного сырья и транспортировки	Требует инвестиций в перерабатывающие мощности
Переработка побочных продуктов металлургии (шлаки, пыль, шламы)	Дополнительный доход от реализации отходов (шлакопортландцемент, цинковые концентраты); снижение экологических платежей	Снижение встроенных выбросов Scope 3 на 5–12 % за счет замещения клинкера и возврата металлов	Нужны инвестиции в технологии переработки пыли
Создание инфраструктуры для подготовки вторичного сырья	Стабилизация качества лома; снижение логистических рисков поставок	Снижение транспортных выбросов на 3–5 % за счет оптимизации цепочек поставок лома	Высокие CAPEX на создание региональных сортировочных хабов; дефицит лицензированных операторов
Использование циркулярных моделей в отраслевой стратегии	Доступ к «зеленому» финансированию; ценовая премия (green premium)	Сертификация продукции с низким углеродным следом (EPD)	Высокие затраты на верификацию данных

Источник: составлено авторами на основе [23; 24], отраслевых статистических данных, аналитических материалов международных отраслевых организаций: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2022 г. № 4260-р «Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г.» Гл. I. Ч. II. Ст. 145. Режим доступа: <http://government.ru/docs/47482/> (дата обращения: 09.12.2025); Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.». Режим доступа: <http://government.ru/docs/43432/> (дата обращения: 09.12.2025); Окружающая среда: статистические данные. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (дата обращения: 04.01.2026).

Source: compiled by the authors based on [23; 24], industry statistics, and analytical materials from international industry organizations.

Тем не менее циркулярная экономика позволяет объединить технологические инновации, переработку вторичных ресурсов и требования экологической политики в единую систему управления материальными потоками.

Критерий стратегического выбора

Встраивание углеродного фактора в экономику отрасли происходит неравномерно. В странах ЕС углерод отражается в цене продукции (EU ETS³⁴, CBAM), т.е. углеродная стоимость учитывается через цену выбросов и распространяется на импорт. Кроме этого, CBAM включен в пакет зако-

нотательных инициатив ЕС Fit for 55³⁵, основная идея которого – сокращение объемов выбросов парниковых газов как минимум на 55 % к 2030 г. В китайской модели аналогичный эффект достигается за счет институционального закрепления углеродных ограничений, хотя конкретные инструменты отличаются [25]. Степень фактического влияния представленных механизмов на поведение компаний остается неоднородной и во многом зависит от отраслевой специфики, тем не менее, по совокупности факторов углерод можно рассматривать как один из экономических параметров функционирования металлургической

³⁴ EU Emissions Trading System (EU ETS). Climate Action. Brussels. 2025. Режим доступа: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en (дата обращения: 04.01.2026).

³⁵ Fit for 55 package. European Parliament. Think Tank. 2022. Режим доступа: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2022\)733513](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2022)733513) (дата обращения: 05.04.2026).

отрасли в ЕС и Китае. Особенность данного показателя заключается в том, что он формируется вне производственной системы и задается внешними институтами.

В России, в отличие от указанных стран, нет полноценной национальной системы торговли квотами на выбросы для промышленности в целом и для металлургии, в частности. При этом в отдельных сегментах он уже начинает учитываться, но, скорее, как внешнее требование, чем как внутренний ориентир [5]. В рамках углеродной политики нашей страны углерод не встроен в себестоимость и не рассматривается как экономический параметр, он является дополнительным ограничением или «проблемой», но не критерием выбора, что создает разрыв между глобальной логикой трансформации отрасли и внутренними механизмами ее функционирования.

Если рассматривать страновые и отраслевые различия в совокупности, становится очевидно, что двойственная роль углеродного фактора усиливается и превращается из условия давления на отрасль в инструмент, который меняет логику сопоставления технологических и организационных решений. Это дает основание для включе-

ния «углеродного следа» в процесс отраслевого стратегирования и позиционирования как одного из критериев стратегического выбора наряду с другими показателями, например ресурсной автономией и экономической эффективностью. Базой должны выступать отраслевые ценности, стратегические интересы и открывающиеся возможности с учетом глобальных процессов декарбонизации. Предлагаемая последовательность этапов стратегического выбора технологической модели на примере циркулярной экономики представлена на рис. 1.

Практическая реализация указанной цепочки будет зависеть от существующего контекста. Так, приоритет конкретного стратегического интереса может меняться в зависимости от факторов внешней среды и наличия конкурентных преимуществ, ценностные ориентиры могут уточняться в процессе анализа. Тем не менее важной будет оставаться роль циркулярной экономики, которая может способствовать учету ESG-повестки, снимать часть противоречий между кратко- и долгосрочными интересами и оказывать мягкое воздействие на внешнюю среду, меняя структуру спроса на сырье и требования к продукции.



Рис. 1. Роль «углеродного следа» в логике стратегического выбора и контексте ESG-трансформации металлургии

Fig. 1. The role of the carbon footprint in the strategic choice framework in the context of the metallurgical industry's ESG transformation

Заключение

В работе мы исходили из того, что для металлургии «углеродный след» уже нельзя рассматривать только как экологический показатель. Углеродные требования меняют условия доступа на внешние рынки и постепенно входят в экономику производства через тарифы, стоимость выбросов и требования к продукции. Для российской металлургии эта связь особенно существенна из-за сочетания высокой углеродоемкости производства и сохраняющейся значимости экспортных рынков. При этом в действующей Стратегии развития металлургической промышленности связь декарбонизации с долгосрочным технологическим выбором отрасли выражена слабо.

Сопоставление технологий показало значительный разброс углеродной интенсивности: 1,9–2,3 т CO₂/т стали для доменного производства, 0,3–0,7 т для электросталеплавильного производства на основе лома, 1,2–1,5 т для DRI + EAF на природном газе и 0,1–0,4 т для водородного DRI. Переход к электросталеплавильным технологиям позволяет сократить углеродоемкость более чем на 70 %, водородные технологии дают

потенциал снижения до 85–95 %. Для анализа использовались диапазонные отраслевые оценки, поэтому полученные значения не характеризуют эффект для конкретного предприятия: он зависит от структуры энергобаланса, региона и условий производства.

Еще одним вариантом изменения технологической модели отрасли является циркулярная трансформация, при которой использование вторичного сырья может снижать удельные выбросы на 60–70 % для стали и одновременно уменьшает потребность в первичном сырье.

Мы предлагаем учитывать углеродную интенсивность при выборе технологической траектории наряду с экономической эффективностью, ресурсной автономией и соответствием стратегическим интересам отрасли. Именно здесь проходит граница между реакцией на очередное углеродное ограничение и стратегическим выбором: в первом случае предприятие сокращает выбросы потому, что этого требует внешняя среда; во втором – сравнивает технологические варианты с учетом того, какое положение они могут обеспечить ему и отрасли на долгосрочном горизонте.

Список литературы / References

1. Фадеев А.М., Ильинский А.А., Афанасьев М.В. Декарбонизация нефтегазового комплекса в Арктике: осознанная необходимость или научный миф? *Экономика промышленности*. 2025;18(2):297–306. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-2-1441>
Fadeev A.M., Ilyinskiy A.A., Afanasiev M.V. Decarbonization of the oil and gas complex in the Arctic: a conscious necessity or a scientific myth? *Russian Journal of Industrial Economics*. 2025;18(2):297–306. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-2-1441>
2. Овчинников К.Н. Карбоновый след металлургической промышленности и обзор перспективных решений по ее декарбонизации в Китае, США и Германии. *Недропользование XXI век*. 2022;(5(97)):97–107.
Ovchinnikov K.N. The carbon footprint of the metallurgical industry and an overview of solutions for its decarbonization in China, the USA and Germany. *Nedropol'zovanie XXI vek*. 2022;(5(97)):97–107. (In Russ.)
3. Самарина В.П., Складорова Е.А., Жилинкова А.П. Перспективы развития российской металлургии в условиях новых экономических вызовов геополитического генезиса. *Фундаментальные исследования*. 2023;(3):17–22. <https://doi.org/10.17513/fr.43437>
Samarina V.P., Sklyarova E.A., Zhilinkova A.P. Prospects for the development of Russian metallurgy in the context of new economic challenges of geopolitical genesis. *Fundamental Research*. 2023;(3):17–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/fr.43437>
4. Манаева И.В., Растопчина Ю.Л., Ковалева Е.И. Эффективность ESG-принципов в корпоративном секторе экономики. *Экономика промышленности*. 2023;16(4):442–455. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-4-1196>
Manaeva I.V., Rastopchina Yu.L., Kovaleva E.I. Effectiveness of ESG-principles in the corporate sector of economics. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2023;16(4):442–455. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-4-1196>
5. Неволин А.Е., Череповицын А.Е., Соловьева В.М. К вопросу трансформации системы стратегического планирования в горно-металлургической отрасли. *Экономика промышленности*. 2025;18(2):199–212. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-2-1379>
Nevolin A.E., Cherepovitsyn A.E., Solovyova V.M. To the issue of transformation of the strategic planning system in the mining and metallurgical industry. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2025;18(2):199–212. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-2-1379>
6. Сасаев Н.И. Анализ стратегического подхода к отраслевому развитию в России. *Стратегирование: теория и практика*. 2023;3(3):348–362. <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-348-362>

- Sasaev N. Analysis of the strategic approach to industrial development in Russia. *Strategizing: Theory and Practice*. 2023;3(3):348–362. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2782-2435-2023-3-3-348-362>
7. Квинт В.Л. Концепция стратегирования. Кемерово: КемГУ; 2022. Т. 1. 132 с.
8. Porter M.E. *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors*. New York: Free Press; 1980. 396 p.
9. North D.C. *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge: Cambridge University Press; 1990. 152 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678>
10. Stern N. *The Economics of climate change: The stern review*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007. 692 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>
11. Johnson G., Whittington R., Scholes K. *Exploring strategy: Text and cases*. 11th ed. London: Pearson; 2017. 828 p.
12. Nordhaus W. Climate clubs: Overcoming free-riding in international climate policy. *American Economic Review*. 2015;105(4):1339–1370. <https://doi.org/10.1257/aer.15000001>
13. Mehling M., van Asselt H., Das K., Droege S., Verkuil C. Designing border carbon adjustments for enhanced climate action. *American Journal of International Law*. 2019;113(3):433–481. <https://doi.org/10.1017/ajil.2019.27>
14. Гринев С.А., Квинт В.Л. Формирование стратегических приоритетов промышленного развития РФ как инновационный фактор преодоления кризисных периодов. *Экономика промышленности*. 2023;16(3):275–283. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-3-275-283>
Grinev S.A., Kvint V.L. Formation of strategic priorities of industrial development of the Russian Federation as an innovative factor in overcoming crisis periods. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2023;16(3):275–283. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2023-3-275-283>
15. Новикова И.В., Се К. Сравнительный анализ стратегий китайских компаний в цифровой экономике. *Экономика промышленности*. 2022;15(2):226–233. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-2-226-233>
Novikova I.V., Xie K. Comparative analysis of strategies of Chinese companies in the digital economy. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2022;15(2):226–233. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-2-226-233>
16. Kvint V.L. *Strategy for the global market: Theory and practical applications*. London NY: Global Market; 2016. 456 p. <https://doi.org/10.4324/9781315739526>
17. Hertwich E.G., Peters G.P. Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. *Environmental Science and Technology*. 2009;43(16):6414–6420. <https://doi.org/10.1021/es803496a>
18. Matthews H.S., Hendrickson C.T., Weber C.L. The importance of carbon footprint estimation boundaries. *Environmental Science and Technology*. 2008;42(16):5839–5842. <https://doi.org/10.1021/es703110w>
19. Ellen MacArthur Foundation. Completing the picture: How the circular economy tackles climate change: report. Cowes: 2019. Режим доступа: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/Uploads/Completing-the-Picture-How-the-circular-economy-tackles-climate-change.pdf> (дата обращения: 09.12.2025).
20. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017;127:221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
21. Лейси П., Лонг Дж., Спиндлер У. Циркулярная экономика. Самое полное руководство по переходу к экономике замкнутого цикла. Пер. с англ. М.: Манн, Иванов и Фербер; 2024. 368 с. (Russ. transl. from: Lacey P., Long J., Spindler W. *The Circular Economy. Handbook Realizing the Circular Advantage*. Springer Nature; 2019. 350 p.)
22. Харитоновна Н.А., Харитоновна Е.Н., Пуляева В.Н. Углеродный след России: реалии и перспективы экономического развития. *Экономика промышленности*. 2021;14(1):50–62. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-1-50-62>
Kharitonova N.A., Kharitonova E.N., Pulyaeva V.N. Carbon footprint of Russia: realities and prospects of economic development. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(1):50–62. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-1-50-62>
23. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P., Hultink E.J. The Circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 2017;143:757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
24. Говорухин В.А., Кучина Е.В. Устойчивое развитие предприятий металлургической промышленности в контексте ESG-трансформации. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*. 2023;17(2):92–100. <https://doi.org/10.14529/em230207>
Govoruhin V., Kuchina E. Sustainable development of the metallurgical industry in the context ESG transformations. *Bulletin of SUSU. Series “Economics and Management”*. 2023;17(2):92–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/em230207>
25. Юдин Д.А., Овчинников А.М. Государственная политика Китая в области водородной энергетики. *Инновации и инвестиции*. 2023;(4):46–50.
Yudin D.A., Ovchinnikov A.M. Cooperation between Russia and China in the field of fuel and energy. China's state policy in the field of hydrogen energy. *Innovation and Investment*. 2023;(4):46–50. (In Russ.)

Информация об авторах

Светлана Владимировна Шабеева – д-р экон. наук, профессор кафедры финансов, финансового права, экономики и бухгалтерского учета, научный советник Центра бюджетного мониторинга, Институт экономики и права, Петрозаводский государственный университет, 185011, Республика Карелия, Петрозаводск, ул. Ломоносова, д. 65, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3130-1896>; e-mail: sigova@petrsu.ru

Галина Владимировна Жукевич – д-р экон. наук, профессор кафедры управления, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, Российская Федерация; e-mail: Galina-65@mail.ru

Марья Романовна Рийконнен – специалист инжинирингового центра, Петрозаводский государственный университет, 185910, Республика Карелия, Петрозаводск, просп. Ленина, д. 33, Российская Федерация; магистрант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, литера Ф, Российская Федерация; e-mail: mriikonnen@mail.ru

Information about the authors

Svetlana V. Shabaeva – Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of Finance, Financial Law, Economics and Accounting; Scientific Advisor, Center for Budget Monitoring, Institute of Economics and Law, Petrozavodsk State University, 65 Lomonosov Str., Petrozavodsk 185011, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3130-1896>; e-mail: sigova@petrsu.ru

Galina V. Zhukevich – Dr. Sci. (Econ.), Professor, Department of Management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya Str., Moscow 127434, Russian Federation; e-mail: Galina-65@mail.ru

Mar'ya R. Riikonnen – Specialist, Engineering Center, Petrozavodsk State University, 33 Lenin Ave., Petrozavodsk, Republic of Karelia 185910, Russian Federation; Master's Student, Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), 5 Professora Popova Str., St. Petersburg 197022, Russian Federation; e-mail: mriikonnen@mail.ru

Поступила в редакцию 23.05.2026; поступила после доработки 31.08.2026; принята к публикации 03.09.2026
Received 23.05.2026; Revised 31.08.2026; Accepted 03.09.2026