

Международный научно-исследовательский журнал

«Прогрессивная экономика»

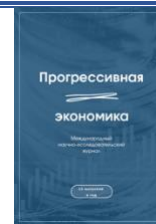
№ 11 / 2025 https://progressive-economy.ru/vypusk_1/rol-zelenyh-innovacij-i-zelenyh-pereodovyh-proizvodstvennyh-tehnologij-v-sokrashhenii-obrazovaniya-othodov-v-metallurgicheskom-komplekse/

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности ВАК: 5.2.3

УДК 37.014

DOI: 10.54861/27131211_2025_11_263



РОЛЬ ЗЕЛЕННЫХ ИННОВАЦИЙ И ЗЕЛЕННЫХ ПЕРЕДОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОКРАЩЕНИИ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

*Зотов М.А., старший преподаватель кафедры «Менеджмент и предпринимательской деятельности», Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3410-5551>*

Аннотация. Экологическое давление на металлургический комплекс требует от предприятий данного сектора перехода к технологическим моделям, обеспечивающим снижение ресурсных нагрузок и минимизацию отходов на всех стадиях производственного цикла. Усиление природоохранных требований, рост энергоёмкости металлургических процессов и возрастающая международная конкуренция формируют необходимость переосмысления традиционных технологических траекторий и ускоренного внедрения зелёных решений. Как показывает отечественная и зарубежная практика зелёные технологии и зелёные инновации тесно связаны между собой, но имеют разную природу и свои особенности. Зелёные технологии ориентированы на снижение негативного воздействия производственной деятельности на окружающую среду, обеспечивая экологизацию уже существующих процессов. Зелёные инновации, в свою очередь, представляют собой новые или усовершенствованные продукты и технологические решения, направленные на повышение ресурсной эффективности и усиление экологической защиты. Вместе с тем обе группы решений, как зелёные передовые производственные технологии, так и зелёные инновации, развиваются в рамках единой технологической траектории, основанной на принципах инженерной экологии. В статье проанализировано влияние зелёных технологий на динамику образования отходов в процессе добычи и металлургического производства, выявлены особенности их воздействия на производственную эффективность и устойчивое развитие компаний. Определены ключевые факторы, формирующие экологическую безопасность отрасли, и предложены направления по снижению объёмов отходов в металлургическом комплексе посредством внедрения инструментов зелёных инноваций и элементов зелёных передовых производственных технологий. Показано, что экологическая модернизация отрасли требует координированных действий государства, научного сообщества и бизнеса, направленных на стимулирование инновационной активности и формирование условий для перехода к замкнутым производственным циклам.



Ключевые слова: черные металлы, зеленые инновации, сокращение отходов, система управления, зеленые передовые производственные технологии, технологическое лидерство.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зотов М.А. Роль зеленых инноваций и зеленых передовых производственных технологий в сокращении образования отходов в металлургическом комплексе // Прогрессивная экономика. 2025. № 11. С. 263–283. https://doi.org/10.54861/27131211_2025_11_263.

Статья поступила в редакцию: 27.10.2025 г. Одобрена после рецензирования: 21.11.2025 г. Принята к публикации: 22.11.2025 г.

THE ROLE OF GREEN INNOVATIONS AND GREEN ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGIES IN REDUCING WASTE GENERATION IN THE METALLURGICAL COMPLEX

*Zotov M.A., Senior Lecturer at the Department of Management and
Entrepreneurship, Kazan National Research Technological University, Kazan,
Russia*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3410-5551>

Abstract. Environmental pressure on the metallurgical complex requires enterprises in this sector to switch to technological models that reduce resource loads and minimize waste at all stages of the production cycle. Increasing environmental requirements, increasing energy intensity of metallurgical processes and increasing international competition are creating the need to rethink traditional technological trajectories and accelerate the implementation of green solutions. As domestic and foreign practice shows, green technologies and green innovations are closely related, but they have different natures and their own characteristics. Green technologies are focused on reducing the negative impact of production activities on the environment, ensuring the greening of existing processes. Green innovations, in turn, are new or improved products and technological solutions aimed at increasing resource efficiency and enhancing environmental protection. At the same time, both groups of solutions, both green advanced manufacturing technologies and green innovations, are developing within a single technological trajectory based on the principles of environmental engineering. The article analyzes the impact of green technologies on the dynamics of waste generation in the mining and metallurgical production process, identifies the features of their impact on production efficiency and sustainable development of companies. The key factors shaping the environmental safety of the industry are identified, and directions for reducing waste in the metallurgical complex are proposed through the introduction of green innovation tools and elements of green advanced production technologies. It is shown that the environmental modernization of the industry requires coordinated actions by the state, the scientific community and business aimed at stimulating innovation activity and creating conditions for the transition to closed production cycles.



Keywords: ferrous metals, green innovations, waste reduction, management system, green advanced production technologies, technological leadership.

JEL classification: O38, D2, L11.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

For citation: Zotov M.A. (2025). The role of green innovations and green advanced manufacturing technologies in reducing waste generation in the metallurgical complex. *Progressivnaya ekonomika [Progressive Economy]*, 11, 263–283, https://doi.org/10.54861/27131211_2025_11_11 (In Russ., abstract in Eng.)

The article was submitted to the editorial office: 27/10/2025. Approved after review: 21/11/2025. Accepted for publication: 22/11/2025.

Введение

Металлургия традиционно относится к числу наиболее ресурсоёмких и экологически нагруженных отраслей промышленности, чувствительных к изменениям в природоохранном законодательстве, рыночной конъюнктуре и структуре производства. На фоне развития сектора металлургии усиливается значимость перехода к моделям экологически ориентированного роста, предполагающим активное внедрение технологий, основанных на принципах инженерной экологии и устойчивого ресурсопользования. За последние годы в мировой и отечественной научной литературе сформировался устойчивый интерес к экологическим инновациям, однако исследования преимущественно концентрируются на отдельных технологических решениях, направленных на снижение выбросов, повышение надежности оборудования или совершенствование транспортных и очистных систем. Между тем, взаимосвязь зеленых инноваций и зеленых передовых производственных технологий, а также их роль в трансформации технологических траекторий металлургических компаний остаются недостаточно изученными.

Таким образом, *цель* работы заключается в разработке новых подходов к реализации принципов и методов зеленых технологий при развитии компаний металлургического производства для формирования технологического лидерства отечественных компаний.

Обзор литературы

Зеленые передовые производственные технологии и зеленые инновации дают возможность технико-экономическим системам избежать ресурсного дефицита в долгосрочной перспективе, снизить негативное воздействие на окружающую среду от хозяйственной деятельности и интенсифицировать естественное воспроизводство процессов в живой природе. В отечественной и зарубежной практике посвящено много работ зеленым инновациям, однако мало остаются исследованы зеленые передовые производственные технологии и их взаимосвязь с инновациями [1]. Многие ученые исследуют



технологическое оборудование для снижения отходов и их образования [2]. Другие анализируют надежность технологического оборудования, для предотвращения аварий и выбросов вредных веществ [3; 4]. Другие анализируют системы управления экологическими инновациями [5].

Особую актуальность вопросы внедрения зеленых инноваций и передовых производственных технологий приобретают в контексте черной металлургии. Черные металлы, в первую очередь сталь и чугун, являются основой для создания технологического оборудования, используемого во всех без исключения добывающих отраслях [7]. Таким образом, экологическая и экономическая эффективность напрямую зависит от устойчивости металлургического производства [8]. В этой связи критически важной задачей становится снижение объемов образования отходов на всех этапах – от добычи железной руды до выпуска готового металлопроката. Значительные потери сырья и материалов, энергоемкость процессов и образование большого количества шлаков, пылегазовых выбросов и сточных вод создают комплексное негативное воздействие на окружающую среду [9].

Изначально основными направлениями для защиты окружающей среды от вредного воздействия добывающих и производственных процессов считалось использование средозащитных технологий, которые представляют собой методы и средства защиты, которые направлены на сокращение выбросов. Основной целью средозащитных технологий является минимизация выбросов, оптимизация использования ресурсов и система управления отходами производства. Анализ научных источников показал, что экологизация технологических цепочек постепенно превращается в один из ключевых факторов конкурентоспособности отрасли, а степень освоения зелёных решений начинает определять способность компаний адаптироваться к внешним ограничениям, снижать издержки и формировать новые модели производственного роста.

Материалы и методы

В работе были использованы официальные данные федеральной службы статистики. Источником являются официальные отчеты предприятий по форме №1- технология. «Сведения о разработке и использовании передовых производственных технологий» [10–13], а также форма №4 «Сведения об инновационной активности предприятий», отраслевые доклады о наилучших доступных технологиях, которые позволяют существенно сократить негативное воздействие на окружающую среду [14–16]. Они включают в себя информацию по количеству предприятий, которые используют, разрабатывают передовые производственные технологии и экологические инновации. Данная статистика публикуется ежегодно и является обязательной для крупных предприятий. Был проведен сравнительный анализ. Выявлены основные факторы, которые влияют на образование отходов в отраслях по добыче полезных ископаемых.



Результаты и обсуждение

Долгосрочный прогноз по развитию черной металлургии до 2030 года включает в себя три основных стратегии развития, включает в себя консервативный, энерго-сырьевой и инновационный пути развития отрасли. Так по инновационному сценарию к 2025 году объем производства чугуна должен был составить 55,6 млн тонн., однако, в связи, с политическим и экономическим причинам целевой показатель не был достигнут, что подтверждается данными государственной статистики за исследуемый период. Объем производства стали должен был составить 74,5 млн тонн, что также не было достигнуто (см. рис. 1). Поэтому мы считаем, что условиях внешних и внутренних ограничений компании должны стремиться минимизировать издержки, если невозможно нарастить объем производства и продаж. Сокращение издержек может быть достигнуто за счет применения инноваций и передовых производственных технологий, направленных на сокращение энергопотребления на одну тонну готовой продукции, а также при более глубокой переработке и использованию отходов металлургического производства.

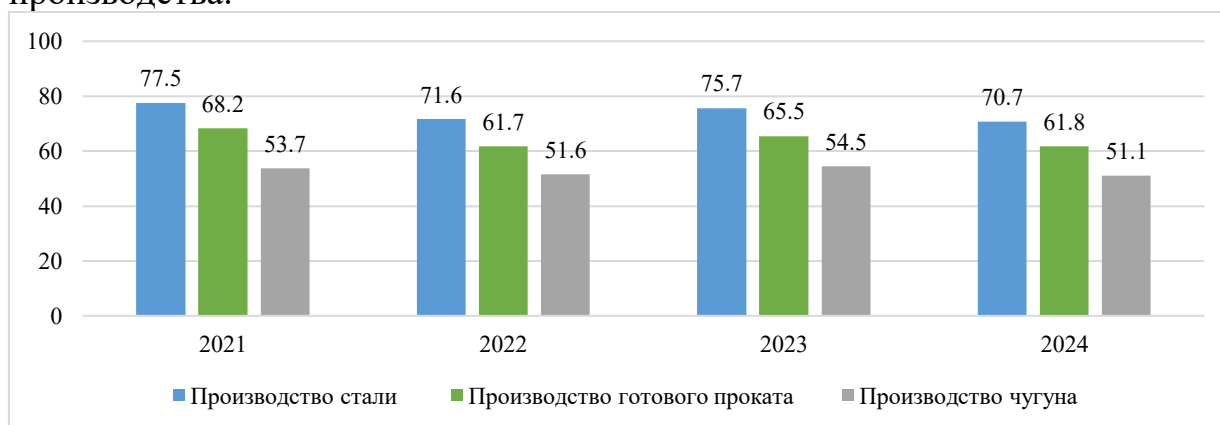


Рис. 1. Объем производства стали, чугуна, готового проката, млн. т.

Источник: составлено автором на основе данных [17]

Fig. 1. The volume of production of steel, cast iron, finished rolled products, million tons

Source: compiled by the author on the basis of data [17]

В результате ускорения темпов внедрения инноваций прогнозируется улучшение производственной структуры черной металлургии, в первую очередь – за счет повышения доли конкурентоспособных мощностей (на всех переделах), а также за счет увеличения доли мощностей для выпуска продукции более глубокой степени переработки, доли импортозамещающих и новых производств. Все это позволит улучшить структуру товарной продукции металлургии и повысить ее конкурентоспособность.



Можно утверждать, что применение данных технологий носит пособытийный характер. Их внедрение позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду, однако, для достижения экологической и ресурсной эффективности необходим комплексный подход. Который включал бы в себя разработку и использование зеленых инноваций, зеленых технологий на всех этапах жизненного цикла [18]. Таким образом, возможно реализовать принцип предотвращения загрязнений на различных этапах, начиная с проектирования и разработки промышленных объектов, заканчивая рекультивационными процессами [19], что особенно актуально для металлургических предприятий.

В процессе добычи металлических руд и металлургического производства (стали, чугуна, ферросплавов, готовых металлических изделий) образуются отходы на всех производственных этапах, которые создают нагрузку на окружающую среду [20]. К основным негативным факторам, которые наносят вред окружающей среде целесообразно отнести: выбросы твердых и газообразных веществ в атмосферу, в водные источники, почву, размещение и переработка отходов, шум и вибрация в процессе эксплуатации техники на всех этапах. В таблице 1 представлены данные по объему образования отходов и процент утилизации и обезвреживания производства и потребления за исследуемый период.

На первом месте по образованию отходов находится добыча металлических руд. Так, динамика за последние годы показывает, что объем образования отходов значительно увеличился и в 2024 году составил уже 2244 миллионов тонн, что превышает значение показателей в 2016 года в 2,34 раза. Наблюдаемое снижение в первую очередь обусловлено снижением утилизации и обезвреживания отходов производства и потребления. Как видим процент утилизации снизился в два раза, что указывает на системный кризис в области переработки и повторного использования отходов в процессе добычи металлических руд. Происходит прогрессирующее накопление отходов в регионах добычи, что негативно влияет на экологическую ситуацию в них. В процессе добычи металлических руд отходы подразделяются на горнопромышленные (образуются в процессе добычи) и металлургические, возникающие в процессе переработки (металлургическое производство, в том числе производство черных металлов). К ним относятся:

- отвалы бедных руд, связанные с низким содержанием металлов в породе, и не имеют экономической целесообразности для их переработки, что приводит загрязнению почвы и водных источников;
- вскрышные породы, связанные с удалением верхних слоев почвы, при этом образуется сотни миллионов тонн вскрышки, которые не используются и могут содержать вредные вещества, такие как тяжелые металлы, сульфиды и кислотные стоки, радиоактивные элементы;



– дренажные воды, которые могут содержать тяжелые металлы и приводят к загрязнению как грунтовых, так и поверхностных вод, это способствует гибели биоценозов;

– образование буровых шламов, которое возникает в процессе осуществления буровой деятельности, так как в данном процессе используется буровая техника, работающая на светлые нефтепродукты, происходит их выброс и загрязнение почвы, в том числе различными реагентами. Как показывают отечественные исследования, загрязнения от места разработки месторождений и хранения отходов может достигать сотни километров [21].

Таблица 1

Объем образования отходов металлургического производства

Table 1

The volume of waste generation in metallurgical production

	Производство металлургическое	Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	Добыча металлических руд	Производство металлургическое	Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	Добыча металлических руд
	Объем образования отходов в млн.т.			Процент утилизации и обезвреживание отходов производства и потребления		
2016	190,6	3,4	957,6	52,0%	5,2%	50,1%
2017	150,8	3,3	1522,3	49,1%	4,6%	51,3%
2018	136,1	1,0	1643,7	53,6%	6,3%	57,5%
2019	155,3	1,4	1635,5	49,4%	24,2%	43,6%
2020	135,9	0,9	2070,9	48,2%	64,1%	49,2%
2021	119,0	1,4	2398,6	51,1%	38,5%	47,8%
2022	182,8	1,4	2403,8	55,3%	44,2%	42,5%
2023	195,5	23,6	2285,0	35,8%	2,6%	38,1%
2024	168,6	12,9	2244,9	44,6%	4,0%	25,1%

Источник: составлено автором на основе данных [21]

Source: compiled by the author on the basis of data [21]

Таким образом, достижение существенного сокращения объемов образующихся отходов возможно лишь при переходе к комплексному подходу, предполагающему одновременное совершенствование технологических процессов и институциональной среды. Реализация таких мер требует активного участия органов государственной власти, которые, с одной стороны, должны усиливать экологические требования и контроль за



обращением отходов, а с другой – обеспечивать адресное стимулирование предприятий, внедряющих зеленые инновации и передовые производственные технологии. Именно сбалансированный механизм воздействия создаёт условия для устойчивой экологической модернизации отрасли.

Дополнительно стоит отметить, что образование шлаков и шлама происходит на этапах обогащения руд и при металлургической обработке металлов. При этом как показывает отечественная практика не более 50% отходом металлургии используются повторно, что делает данную отрасль одну из наиболее наносящих вред окружающей среде.

Металлургическое производство показывает волнообразную динамику несмотря на то, что за исследуемый период объем производства находится на одном уровне. Так минимальное значение было зафиксировано в 2023 году и составило 35,8%. Данные значения характеризуют отсутствие четкой стратегии металлургических предприятий в области использования, рециклинга отходов производства в долгосрочной перспективе. Наименьшее количество образования отходов и про зафиксировано в процессе производства готовых изделий, это обусловлено спецификой отходов и сложность их утилизации:

- низкая рентабельность переработки;
 - высокие издержки транспортировки, производства
- рассредоточены по всей территории страны;
- загрязнение отходов (маслами, лаками, эмульсиями и т.д);
 - отсутствие современных технологий в области переработки;
 - слабо развитая система сортировки отходов;
 - низкие платежи за размещение отходов.

Таким образом компаниям экономически невыгодно увеличивать процент утилизации. В связи с этим, необходимо не только увеличивать сборы за утилизацию, но стимулировать создание зеленых инноваций, на основе которых будут разработаны новые зеленые передовые производственные технологии. Для решения вышеописанной проблемы мы изначально предлагаем проанализировать не только общий объем образования отходов в анализируемых отраслях, но и дополнительно рассмотреть долю предприятий и направления по сокращению образования отходов, статистику внедрения и использования зеленых инноваций, зеленых передовых технологий за исследуемый период (табл. 2).

Таблица 2

Число предприятий, внедряющих зеленые инновации, сумма затрат на зеленые инновации

Table 2

The number of enterprises implementing green innovations, the amount of green innovation costs

	Число предприятий, которые внедряли зеленые инновации за 3 года	Сумма затрат на зеленые инновации (тыс. руб.)	Число предприятий, которые направляли инвестиции на зеленые инновации
2019			
Добыча металлических руд	4	22981	1
Производство металлургическое	28	6836916	24
Производство чугуна, стали и ферросплавов	6	3666969	5
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	28	38115	20
2021			
Добыча металлических руд	6	14 785,5	4
Производство металлургическое	38	1 069 471,7	27
Производство чугуна, стали и ферросплавов	10	316 299,5	10
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	42	151 053,0	28
2023			
Добыча металлических руд	9	0,0	1
Производство металлургическое	37	1 003 377,5	9
Производство чугуна, стали и ферросплавов	9	395 904,7	3
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	40	27 046,5	5

Источник: составлено автором на основе данных [14–16]

Source: compiled by the author on the basis of data [14–16]

Анализ статистических данных за 2016-2024 годы позволяет выявить комплекс взаимосвязей между показателями экологических инноваций и динамикой образования отходов в металлургическом комплексе. В металлургическом производстве наблюдается устойчивая положительная корреляция ($r = 0,79$) между объемом финансирования зеленых инноваций и эффективностью утилизации отходов, что свидетельствует о эффективности



зеленных инноваций. Несмотря на значительные объемы образующихся отходов (119,0–195,5 млн т), непрерывная инновационная активность 37–38 предприятий при ежегодном финансировании 1,0–6,8 млрд рублей обеспечивает поддержание уровня утилизации на относительно стабильном уровне (35,8–55,3%). При этом стоит отметить, что увеличение финансирования зеленых инноваций, приведет к сокращению количества образования отходов, что приведет к повышению результативности хозяйственной деятельности предприятий.

В отрасли по добыче металлических руд наблюдается негативная динамика. Очень низкий уровень инновационной активности предприятий. Несмотря на то, что количество предприятий, которые внедряют инновации выросло более чем в два раза, происходит снижение объемов утилизации отходов с 57,5% до 25,1%. При этом наблюдается существенный рост образования отходов с 967,6 до 2403,8 млн. т., что может быть обусловлено, отложенным эффектом от внедрения зеленых инноваций. Дополнительно инновации не стали базисом для создания зеленых передовых производственных технологий. Особого внимания заслуживает ситуация в отрасли по производству металлических изделий, где высокая инновационная активность (28–42 предприятия) сочетается с высоким уровнем волатильности показателей утилизации (2,6–64,1%). Данное противоречие указывает на структурные проблемы в трансформации инновационного потенциала в реальные экологические результаты.

Качественный анализ подтверждает гипотезу о дифференцированном воздействии экологических инноваций на различные сегменты металлургического комплекса. Наиболее эффективными оказываются целенаправленные инвестиции в металлургическое производство, тогда как в добывающем секторе и металлообработке наблюдаются системные ограничения, требующие адаптации механизмов экологической модернизации. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки дифференцированной отраслевой политики, учитывающей специфику технологических процессов и потенциал внедрения зеленых инноваций в каждом сегменте металлургического комплекса.

Дополнительно, для целей нашего исследования мы предлагаем проанализировать цели внедрения зеленых инноваций. В таблице 3 представлено среднее значение предприятий, которые внедряют зеленые инновации по целям внедрения за исследуемый период.

Таблица 3

Направления внедрения зеленых инноваций в металлургическом комплексе

Table 3

Directions of introducing green innovations in the metallurgical complex

	Число организаций, осуществлявших инновации, направленные на улучшение экологии, всего, единиц	Число организаций, осуществлявших инновации, направленные на улучшение экологии, единиц					
		Повышение экологической безопасности в процессе производства, товаров, работ, услуг					
		Замена сырья и материалов на безопасные или менее опасные	Осуществление вторичной переработки (рециркуляции) отходов производства	Снижение загрязнения окружающей среды	Сокращение выброса в атмосферу диоксида углерода (CO ₂)	Сокращение материальных затрат на производство	Сокращение энергозатрат на производство единицы товаров
Добыча металлических руд	2	2	2	2	2	2	2
Производство металлургическое	5	1	3	3	3	2	5
Производство чугуна, стали и ферросплавов	33	12	19	23	12	16	33
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	8	2	4	6	3	4	8

Источник: составлено автором на основе данных [14–16]

Source: compiled by the author on the basis of data [14–16]



Проведенный анализ указал на наличие структурных проблем, в процессе реализации зеленых инноваций в металлургическом комплексе. Наиболее активное внедрение отмечается в направлениях, которые обеспечивают прямую экономическую отдачу: сокращение энергозатрат (33 предприятия в черной металлургии) и материальных затрат. Вторичная переработка отходов и замена сырья развиты значительно слабее, что подтверждает доминирование «реактивного» подхода к решению экологических проблем.

Межотраслевой анализ выявляет выраженную концентрацию инновационной активности в сегменте производства чугуна и стали при сохраняющемся низком уровне технологических обновлений в добыче руд и металлообработке. Наблюдаемая дифференциация позволяет судить о неоднородности технологического развития металлургического комплекса и подтверждает необходимость выработки комплексной стратегии, направленной на преодоление структурных диспропорций.

На основе проведенного исследования представляется целесообразным формирование интегрированного подхода к экологической модернизации отрасли. Во-первых, требуется развитие адресных мер государственной поддержки, ориентированных на добычу руд и производство металлических изделий, включая софинансирование пилотных проектов по рециркуляции вскрышных пород и металлообрабатывающих шламов. Во-вторых, важным направлением является стимулирование предприятий к переходу от универсальных экологических мероприятий к специализированным программам, ориентированным на формирование замкнутых производственных циклов и глубокую переработку отходов. В-третьих, ведущие компании черной металлургии могут выступить инициаторами отраслевых программ по подготовке и переподготовке кадров в сфере зеленых технологий, обеспечивая распространение наилучших практик на смежные сектора, включая добывающие предприятия.

Именно комплексная реализация указанных мер позволит создать основу для системной экологизации производственных процессов, способствует снижению объемов образования отходов и создает предпосылки для технологического лидерства отечественных металлургических компаний.

При этом стоит обратить внимание, что зеленые инновации порождают зеленые передовые производственные технологии. На их базе происходит изменение технологий. Поэтому необходимо проанализировать статистику использования и внедрения передовых производственных технологий, которые направлены на решение экологических задач (см. табл. 4).

Таблица 4

Число используемых передовых производственных технологий в металлургическом комплексе

Table 4

The number of advanced production technologies used in the metallurgical complex

	Число используемых передовых производственных технологий, единиц				
	Всего по периодам	в том числе			
		до 1 года	от 1 до 3 лет	от 4 до 5 лет	6 и более лет
2023					
Добыча металлических руд	76	5	20	8	43
Производство металлургическое	320	29	56	33	202
Производство чугуна, стали и ферросплавов	126	10	18	13	85
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	440	8	82	75	275
2022					
Добыча металлических руд	66	3	15	23	25
Производство металлургическое	295	18	44	31	202
Производство чугуна, стали и ферросплавов	116	8	14	9	85
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	430	7	103	82	238
2021					
Добыча металлических руд	67		23	21	23
Производство металлургическое	269	11	45	16	197
Производство чугуна, стали и ферросплавов	113	5	16	5	87
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	403	10	113	94	186
2020					
Добыча металлических руд	72	4	14	32	22
Производство металлургическое	196	16	31	15	134
Производство чугуна, стали и ферросплавов	71	0	13	0	54
Производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	361	56	92	66	147

Источник: составлено автором на основе данных [10–13]

Source: compiled by the author on the basis of data [10–13]



Анализ данных о передовых производственных технологиях в металлургическом комплексе выявляет системные диспропорции технологического развития. Во всех сегментах наблюдается количественный рост используемых технологий, достигающий в производстве металлических изделий 440 единиц. Однако структурный анализ демонстрирует преобладание устаревших решений: в базовых производствах доля технологий старше 6 лет превышает 62,5%, что свидетельствует о замедленном технологическом обновлении. В производственном секторе наблюдается максимальное количество технологий и минимальные показатели утилизации отходов (2,6-4,0%). Данное противоречие указывает на несоответствие технологических приоритетов экологическим задачам. В добывающем секторе низкая доля новых технологий (32,9%) коррелирует с отсутствием финансирования экологических инноваций и прогрессирующим ухудшением показателей утилизации.

Выявленные тенденции подтверждают необходимость перехода от экстенсивного накопления технологий к целенаправленному внедрению ресурсосберегающих решений. Приоритетом отраслевой политики должно стать формирование замкнутых технологических циклов, особенно в сегментах с максимальным экологическим следом.

Анализ технологических стратегий ведущих металлургических компаний в области сокращения отходов производства России (ПАО «ММК», ПАО «Северсталь», ПАО «НЛМК» и ООО УК «Металлоинвест»)

Анализ годовых отчетов по устойчивому развитию крупнейших предприятия по производству стали, чугуна, ферросплавов показывает системную трансформацию отрасли в направлении принципов циркулярной экономики. Ключевым индикатором данной трансформации выступает прогрессирующий рост уровня рециклинга отходов производства: 81,8% у ПАО «ММК», 98,1% у ПАО «Северсталь» и 99,9% у ПАО «НЛМК» [22-24]. Параллельно наблюдается существенная отрицательная динамика объемов образования отходов, наиболее наглядно иллюстрируемая показателями ПАО «ММК», где общий объем отходов сократился с 34,2 млн тонн в 2018 году до 11,5 млн тонн в 2024 году.

Установлена прямая корреляция между масштабами инвестиций в зеленые технологии и эффективностью утилизации. Стратегия «Металлоинвеста», направленная на инвестиции в объеме 160 млрд рублей в строительство фабрики по обогащению окисленных кварцитов и свыше 600 млн долларов в установку ГБЖ-4, нацелена на кардинальное снижение углеродного следа и формирование низкоуглеродного металлургического производства. Аналогично, природоохранные инвестиции ПАО «ММК» в рамках программы «Чистый воздух», превысившие 106 млрд рублей с 2017

года, обусловили не только снижение объемов отходов, но и уменьшение удельного показателя их образования [25].

Во-первых, преобладание «реактивных» решений, нацеленных на ликвидацию уже возникших загрязнений, что особенно характерно для систем газоочистки и водоочистки. Во-вторых, наблюдается рост доли «проактивных» инноваций, ориентированных на предотвращение образования отходов, таких как технологии замкнутого водооборотного цикла и глубокой переработки шлаков. При этом эффективность внедрения технологий демонстрирует значительную отраслевую специфику: максимальные показатели рециклинга достигнуты в сегменте передельной металлургии (ПАО «НЛМК», ПАО «Северсталь»), тогда как в добыче металлических руд и производстве металлических изделий сохраняются системные проблемы, связанные с низкой рентабельностью переработки сложных и загрязненных отходов.

Таким образом, устойчивое развитие металлургического комплекса России детерминировано переходом от экстенсивного накопления технологий к целенаправленному формированию замкнутых производственных систем. Ключевыми факторами успеха выступают масштабирование наилучших доступных технологий. Данные технологии описаны в информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям в процессе производства стали, чугуна и ферросплавов [26; 27]. Таким образом, использование отечественного опыта в области снижения объемов образования отходов совместно с применением принципов экономики замкнутого цикла и разработка дифференцированных мер государственной поддержки на всех уровнях позволит существенно повысить эффективность существующих технологий.

Заключение

Проведенный анализ взаимосвязи внедрения зелёных инноваций и зелёных передовых производственных технологий в металлургическом комплексе демонстрирует ключевую роль инновационных экологических решений в повышении устойчивости отраслевого развития. Результаты исследования показывают, что наличие передовых технологий не приводит к улучшению экологической эффективности при отсутствии системного внедрения экологических инноваций. В секторах, характеризующихся низкой инновационной активностью, наблюдается выраженный рост объёмов отходов в расчёте на тонну добытого сырья, что свидетельствует о структурных ограничениях существующих технологических траекторий.

Полученные данные указывают на необходимость перехода к комплексной трансформации моделей производственного развития, основанной на интеграции инноваций, ориентированных на предотвращение образования отходов. Существенным условием повышения результативности экологической модернизации выступает корректировка корпоративной



политики в направлении расширения инновационной активности, что предполагает использование механизмов государственной поддержки и стимулов для предприятий, осуществляющих добычу металлических руд. Для добывающего сегмента особую значимость приобретает не только сохранение текущего уровня инновационной деятельности, но и переориентация технологического потенциала на решения, направленные на предотвращение экологического ущерба.

Обобщённые результаты исследования подтверждают, что формирование устойчивых траекторий развития металлургического сектора требует сочетания технологической модернизации с целенаправленной экологизацией производственных процессов. Реализация такой стратегии способствует повышению экологической безопасности функционирования отрасли и создаёт предпосылки для достижения технологического лидерства в национальной экономике.

Литература

1. Zotov M. Innovations shaping a greener future: The role of industry in environmental change // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 583. P. 08003.
2. Salina A., Salin A. Bioindication of the metal-containing wastewater treatment process / A. Salina, // E3S Web of Conferences. Sevastopol, 2020. P. 02010.
3. Valeev S.I. Environmental aspects of metal corrosion at oil and gas chemical enterprises // E3S Web of Conferences, St. Petersburg, 2023. Vol. 460. P. 10012.
4. Valeev S.I. Influence of Internal Defects of Basic Metal of the Equipment on Its Operational Properties // Materials Research Proceedings. Temryuk, 2022. P. 391–395.
5. Gilyazutdinova I.V., Ponikarova A.S., Romanova A.I. Technique of the analysis and assessment of innovative industrial risks at different stages of innovative activity // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. Vol. 6. No. 2. P. 74–81.
6. Экологические аспекты утилизации отходов черной металлургии / О. В. Захарова, С. П. Чеботарева, А. А. Гусев [и др.]. Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. 84 с. Кудрявский Ю.П., Черный С.А. Эколого-экономический критерий эффективности технологий переработки производственных отходов в цветной металлургии /// Цветные металлы. 2008. № 4. С. 8–11.
7. Голик В.И. Экологизация технологий подземной разработки нагорных рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2024. № 3. С. 165–174.



8. Пугин К.Г., Вайсман Я.И. Методические подходы к разработке экологически безопасных технологий по использованию твердых отходов черной металлургии // Гигиена и санитария. 2013. Т. 92, № 4. С. 54–59
9. Федеральная служба государственной статистики, раздел производственные технологии [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2023.rar (дата обращения: 11.09.2025)
10. Федеральная служба государственной статистики, раздел производственные технологии [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2022.rar (дата обращения: 13.09.2025)
11. Федеральная служба государственной статистики, раздел производственные технологии [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2021.rar (дата обращения: 15.09.2025)
12. Федеральная служба государственной статистики, раздел производственные технологии [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2020.rar (дата обращения: 19.09.2025)
13. Федеральная служба государственной статистики, раздел инновации [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/4-inn_2023.rar (дата обращения: 20.09.2025)
14. Федеральная служба государственной статистики, раздел производственные технологии [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2022.rar (дата обращения: 20.09.2025)
15. Федеральная служба государственной статистики, раздел инновации [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/4-inn_2021.rar (дата обращения: 22.09.2025)
16. Бродов А.А. Черная металлургия России в условиях изменившейся внешнеполитической ситуации [Электронный ресурс]. URL: <https://ac.chermet.net/Chernaya-metallurgiya-Rossii-v-usloviyah> (дата обращения: 10.10.2025)
17. Zotov M. Organizational and economic mechanism for the implementation of sustainable innovations // E3S Web of Conferences: II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023), Tashkent. 2023. Vol. 443. P. 04002.
18. Райхенбахер Х.В. Инновационная сила черной металлургии // Черные металлы. 2010. № 7. С. 33–35.



19. Сычева И.В., Котенева М.В., Шульженко Н.А., Тихобаев В.М. О необходимости государственной поддержки развития инфраструктуры переработки отходов черной металлургии в тульском регионе // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 1. С. 335–344.

20. Федеральная служба государственной статистики, раздел отходы производства и потребления [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_otxod1_okved2_2024.xls (дата обращения: 20.09.2025)

21. Официальный сайт компании ПАО «Северсталь», раздел ключевые экологические показатели [Электронный ресурс]. URL: <https://severstal.com/rus/sustainable-development/environment/waste-management/> (дата обращения: 12.09.2025)

22. Официальный сайт компании ПАО «ММК», раздел управление отходами показатели [Электронный ресурс]. URL: <https://mmk.ru/ru/sustainability/ecology/waste-management/> (дата обращения: 28.10.2025)

23. Официальный сайт компании ПАО «НЛМК», раздел ключевые экологические показатели [Электронный ресурс]. URL: <https://nlmk.com/ru/sustainability/environment/key-environmental-indicators/> (дата обращения: 12.09.2025)

24. Отчет об устойчивом развитии 2024, раздел экологическая программа, стр. 190 [Электронный ресурс]. URL: https://www.metalloinvest.com/upload/iblock/81c/our_2024_ru.pdf (дата обращения: 30.10.2025)

25. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 26-2022, производство стали, чугуна, ферросплавов [Электронный ресурс]. URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1846&etkstructure_id=1872 (дата обращения: 12.09.2025).

26. Zotov, M. Innovation to ensure sustainable development in the coal industry // E3S Web of Conferences, Termez, Uzbekistan. Les Ulis Cedex A: EDP Sciences, 2024. P. 4021.

References

1. Zotov M. 2024. Innovations shaping a greener future: The role of industry in environmental change. E3S Web of Conferences, 583: 08003. (In Eng.)
2. Salina A., Salin A. 2020. Bioindication of the metal-containing wastewater treatment process. E3S Web of Conferences, Sevastopol: 02010. (In Eng.)



3. Valeev S. I. 2023. Environmental aspects of metal corrosion at oil and gas chemical enterprises. E3S Web of Conferences, St. Petersburg, 460: 10012. (In Eng.)
4. Valeev S. I. 2022. Influence of internal defects of basic metal of the equipment on its operational properties. Materials Research Proceedings, Temryuk: 391–395. (In Eng.)
5. Gilyazutdinova I. V., Ponikarova A. S., Romanova A. I. 2016. Technique of the analysis and assessment of innovative industrial risks at different stages of innovative activity. International Journal of Economics and Financial Issues, 6(2): 74–81. (In Eng.)
6. Zakharova O. V., Chebotareva S. P., Gusev A. A., et al. 2023. Ekologicheskie aspekty utilizatsii otkhodov chernoy metallurgii [Environmental aspects of waste utilization in ferrous metallurgy]. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet, 84 p. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Kudryavskiy Yu. P., Chernyy S. A. 2008. Ekologo-ekonomicheskii kriteriy effektivnosti tekhnologiy pererabotki proizvodstvennykh otkhodov v tsvetnoy metallurgii [Ecological–economic efficiency criterion of waste-processing technologies in non-ferrous metallurgy]. Tsvetnye metally, 4: 8–11. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Golik V. I. 2024. Ekologizatsiya tekhnologiy podzemnoy razrabotki nagornyykh rudnykh mestorozhdeniy [Greening technologies of underground development of ore deposits]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, 3: 165–174. (In Russ., abstract in Eng.)
9. Pugin K. G., Vaisman Ya. I. 2013. Metodicheskie podkhody k razrabotke ekologicheski bezopasnykh tekhnologiy po ispol'zovaniyu tverdykh otkhodov chernoy metallurgii [Methodological approaches to developing environmentally safe technologies for solid waste utilization in ferrous metallurgy]. Gigiena i sanitariya, 92(4): 54–59. (In Russ., abstract in Eng.)
10. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Proizvodstvennyye tekhnologii [Production technologies] [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2023.rar (accessed: 11.09.2025). (In Russ.)
11. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Proizvodstvennyye tekhnologii [Production technologies] [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2022.rar (accessed: 13.09.2025). (In Russ.)
12. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Proizvodstvennyye tekhnologii [Production technologies] [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2021.rar (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
13. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Proizvodstvennyye tekhnologii [Production technologies] [Electronic resource]. URL:



https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2020.rar (accessed: 19.09.2025). (In Russ.)

14. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Innovatsii [Innovations] [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/4-inn_2023.rar (accessed: 20.09.2025). (In Russ.)

15. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Proizvodstvennye tekhnologii [Production technologies] [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/1-tech_2022.rar (accessed: 20.09.2025). (In Russ.)

16. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Innovatsii [Innovations] [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/4-inn_2021.rar (accessed: 20.09.2025). (In Russ.)

17. Brodov A. A. 2025. Chernaya metallurgiya Rossii v usloviyakh izmenivsheysya vneshnepoliticheskoy situatsii [Ferrous metallurgy of Russia under changing geopolitical conditions] [Electronic resource]. URL: <https://ac.chermet.net/Chernaya-metallurgiya-Rossii-v-usloviyah> (accessed: 10.10.2025). (In Russ.)

18. Zotov M. 2023. Organizational and economic mechanism for the implementation of sustainable innovations. E3S Web of Conferences, 443: 04002. (In Eng.)

19. Raikhenbakher Kh. V. 2010. Innovatsionnaya sila chernoy metallurgii [Innovative strength of ferrous metallurgy]. Chernye metally, 7: 33–35. (In Russ., abstract in Eng.)

20. Sycheva I. V., Koteneva M. V., Shul'zhenko N. A., Tikhobaev V. M. 2019. O neobkhodimosti gosudarstvennoy podderzhki infrastruktury pererabotki otkhodov chernoy metallurgii v Tul'skom regione [On the need for state support of waste-processing infrastructure in ferrous metallurgy in Tula region]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, 1: 335–344. (In Russ., abstract in Eng.)

21. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Otkhody proizvodstva i potrebleniya [Industrial and municipal waste] [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_otxod1_okved2_2024.xls (accessed: 22.10.2025). (In Russ.)

22. PAO «Severstal'». Klyuchevye ekologicheskie pokazateli [Key environmental indicators] [Electronic resource]. URL: <https://severstal.com/rus/sustainable-development/environment/waste-management/> (accessed: 28.10.2025). (In Russ.)

23. PAO «MMK». Upravlenie otkhodami [Waste management indicators] [Electronic resource]. URL: <https://mmk.ru/ru/sustainability/ecology/waste-management/> (accessed: 12.09.2025). (In Russ.)



24. PAO «NLMK». Klyuchevye ekologicheskie pokazateli [Key environmental indicators] [Electronic resource]. URL: <https://nlmk.com/ru/sustainability/environment/key-environmental-indicators/> (accessed: 12.09.2025). (In Russ.)

25. Metalloinvest. Otchet ob ustoychivom razvitii 2024 [Sustainability report 2024], ekologicheskaya programma [Environmental program], p. 190 [Electronic resource]. URL: https://www.metalloinvest.com/upload/iblock/81c/our_2024_ru.pdf (accessed: 12.09.2025). (In Russ.)

26. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. ITS 26-2022, proizvodstvo stali, chuguna, ferrosplavov [Reference book on best available technologies, steel, iron, ferroalloys] [Electronic resource]. URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1846&etkstructure_id=1872 (accessed: 30.10.2025). (In Russ.)

27. Zotov M. 2024. Innovation to ensure sustainable development in the coal industry. E3S Web of Conferences, Termez, Uzbekistan. Les Ulis Cedex A: EDP Sciences: 4021. (In Eng.)

© Зотов М.А., 2025 г.

