

Воздействие металлургического производства на окружающую среду

УДК 504.06

DOI: <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2025-13-4-C0016>

Номер статьи: C0016

Кузьмин Евгений Олегович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
ассистент

Белгород, Россия

SPIN: 8722-1231

kuzmin9731@mail.ru

Сапронова Жанна Ануаровна

д-р техн. наук., доцент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Белгород, Россия

SPIN: 7817-4790

sapronova.2016@yandex.ru

Лукьяненко Никита Олегович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

аспирант

Белгород, Россия

niklu03@gmail.com

Статья получена: 31.10.2025. Одобрена: 26.11.2025. Опубликовано онлайн: 25.15.2025. © РИОР

Аннотация. Целью данной статьи является комплексный анализ воздействия металлургического производства на окружающую среду на всех технологических этапах и обоснование путей минимизации экологического ущерба на принципах циркулярной экономики и «зеленой» металлургии. В исследовании использованы методы системного анализа научной литературы, сравнительная оценка эффективности различных технологий переработки, включая гидро- и пирометаллургические методы, механохимическую активацию. Установлено, что негативное воздействие носит системный характер, проявляясь на этапах добычи сырья и его металлургического передела. Выявлен значительный ресурсный потенциал техногенных отходов (хвостов обогащения, шлаков, металлургических пылей). Научно обоснована и показана высокая эффективность инновационных технологий, таких как выщелачивание с механохимической активацией, позволяющее извлекать из отходов до 50–80% потерянных металлов, и комплексная переработка пылей электродуговой печи. Результаты работы позволяют сформировать научно-методическую базу для разработки и внедрения природоохранных мероприятий на металлургических предприятиях. Предложенные технологические решения направлены на сокращение объема захораниваемых отходов, снижение выбросов и расширение минерально-сырьевой базы за счет вторичных ресурсов, что способствует повышению экологической и экономической устойчивости отрасли.

Ключевые слова: металлургическое производство, циркулярная экономика, техногенные отходы, переработка шлаков, хвосты обогащения, выщелачивание, экологическая безопасность

The environmental impact of metallurgical production

Kuzmin Yevgeniy Olegovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Assistant
Belgorod, Russian Federation
kuzmin9731@mail.ru

Sapronova Zhanna Anuarovna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Belgorod, Russian Federation
sapronova.2016@yandex.ru

Lukyanenko Nikita Olegovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Postgraduate Student
Belgorod, Russian Federation
niklu03@gmail.com

Abstract. The objective of this article is a comprehensive analysis of the impact of metallurgical production on the environment at all technological stages and justification of ways to minimize environmental damage based on the principles of circular economy and "green" metallurgy. The study uses methods of systematic analysis of scientific literature, a comparative assessment of the effectiveness of various processing technologies, including hydro- and pyrometallurgical methods, and mechanochemical activation. It has been established that the negative impact is systemic, manifesting itself at the stages of extraction of raw materials and its metallurgical conversion. A significant resource potential of man-made waste (enrichment tailings, slags, metallurgical dust) has been identified. The high efficiency of innovative technologies, such as leaching with mechanochemical activation, which makes it possible to extract up to 50-80% of lost metals from waste, and complex processing of electric arc furnace dust, has been scientifically substantiated and demonstrated. The results of the work make it possible to form a scientific and methodological basis for the development and implementation of environmental protection measures at metallurgical enterprises. The proposed technological solutions are aimed at reducing the amount of waste being buried, reducing emissions and expanding the mineral resource base through secondary resources, which contributes to improving the environmental and economic sustainability of the industry.

Keywords: Metallurgical production, circular economy, man-made waste, slag processing, enrichment tailings, leaching, environmental safety

Введение

Ключевая роль металлургии в становлении и развитии человеческой цивилизации неоспорима. Именно с освоением металлов связаны важнейшие технологические прорывы в истории, заложившие основу современного промышленного ландшафта. Однако индустриальная мощь, которую обеспечивает эта отрасль, имеет и обратную, глубоко противоречивую сторону, проявляющуюся в масштабном и зачастую необратимом преобразовании природных систем [1]. Процессы извлечения металла из руды и его последующей переработки сопряжены с образованием значительного количества веществ, поступающих в атмосферу, водные объекты и почву, формируя комплексное негативное воздействие на окружающую среду [2]. Это воздействие носит многокомпонентный характер, начиная от глобальных последствий, таких как выбросы парниковых газов, способствующих изменению климата, и заканчивая локальными трансформациями, когда

территории вблизи металлургических гигантов испытывают на себе всю тяжесть производственной деятельности. Воздушный бассейн принимает на себя выбросы взвешенных частиц, оксидов серы и азота, тяжелых металлов. Водные ресурсы истощаются за счет колоссального водопотребления и загрязняются стоками, содержащими растворенные соли, металлы и реагенты. Накопление огромных объемов твердых отходов — шлаков, шламов, — приводит к отчуждению земель и созданию долговременных источников потенциального загрязнения.

Методы

В рамках исследования применялись методы системного анализа научной литературы, сравнительная оценка эффективности различных технологий переработки, включая гидрометаллургические и пирометаллургические методы, а также механохимическую активацию.

Результаты

Воздействие металлургического производства на окружающую среду логично рассматривать, выделяя два основных технологических этапа: первичный, связанный с добычей и подготовкой сырья, и последующий, заключающийся в его металлургической переработке [3]. Начальная стадия, включающая добычу руд и угля, а также их обогащение, задает масштаб антропогенной нагрузки на природные системы, последствия которой часто носят необратимый характер. На этапе добычи и подготовки сырья происходит кардинальное преобразование территории. Создание карьеров и разрезов приводит к полному уничтожению естественных почвенных покровов и растительных сообществ, нарушению гидрологического режима местности и формированию глубоких техногенных ландшафтов [4]. Извлечение и складирование вскрышных пород сопровождается образованием обширных отвалов и хвостохранилищ, которые не только отчуждают значительные земельные площади, но и становятся постоянными источниками пылеобразования и химического загрязнения [5, 6]. С поверхности этих объектов под воздействием ветровой и водной эрозии происходит миграция взвешенных частиц и растворенных соединений тяжелых металлов, загрязняющих прилегающие почвы и водные объекты [7, 8]. Процесс обогащения руды, направленный на повышение содержания полезного компонента, связан с большими объемами водопотребления и образованием жидких отходов, сбрасываемых в хвостохранилища, что создает риски фильтрации и нарушения целостности этих сооружений [9]. Кроме того, дробление и измельчение руды, ее сортировка и транспортировка генерируют значительные выбросы пыли в атмосферный воздух, часто содержащей токсичные элементы, такие как свинец, кадмий и ртуть, которые накапливаются в экосистемах и представляют долговременную опасность [5]. Таким образом, даже до стадии плавки металлургический цикл инициирует масштабные изменения в окружающей среде, характеризующиеся нарушением земель, истощением и загрязнением водных ресурсов, а также химической нагрузкой на атмосферный воздух, что подтверждается исследованиями конкретных предприятий горно-металлургического комплекса [6]. Комплексная оценка этих рисков, как отмечают исследователи, является необходимым первым шагом для разработки эффективных природоохранных стратегий [3].

Ключевое воздействие на окружающую среду формируется на этапе металлургической переработки, который включает плавку, рафинирование и литье. Этот этап характеризуется комплексным негативным влиянием, основные аспекты которого структурированы в Таблице 1.

Таблица 1

Анализ воздействия этапа металлургической переработки на окружающую среду (составлено автором)

Направление воздействия	Характеристика и последствия	Источник
Выбросы в атмосферу	Выбросы диоксида серы, оксидов азота, оксида углерода, бенз(а)пирена и пыли, содержащей тяжелые металлы (свинец, медь, цинк, никель, кадмий), приводящие к хронической интоксикации населения и превышению приемлемых уровней риска для здоровья.	[17], [18]
	Образование газопылевой фракции, содержащей природные и техногенные радионуклиды, которая при осаждении загрязняет почву, растительность и грунтовые воды, создавая риск внешнего и внутреннего облучения населения.	[16]
	Пыль очистки отходящих газов сталеплавильного производства, являющаяся источником вторичного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами.	[21]
	Выбросы диоксидов серы и азота, оксида углерода, оказывающие негативное влияние на компоненты сосновых насаждений в зоне влияния завода.	[17]
Образование промышленных отходов	Накопление шлаков, характеризующихся преобладанием силикатов и алюмосиликатов с включениями ферритных составляющих и остаточным содержанием цветных и тяжелых металлов, что представляет долговременную экологическую угрозу.	[10], [22]
	Образование техногенных месторождений (отвалов, шлаков), оказывающих комплексное негативное воздействие на все компоненты природной среды и требующих переработки или рекультивации.	[10]
	Накопление значительных объемов твердых отходов (в том числе шлаков и пыли), ведущее к отчуждению земель, пылению и фильтрации токсичных элементов в почву.	[11], [19]
	Образование окалины, использованных фильтров и других специфических отходов I-V классов опасности, требующих строгого учета, паспортизации и передачи аккредитованным организациям для переработки.	[19]
Потребление ресурсов и термальное загрязнение	Высокое потребление воды, составляющее 15-20% от общего потребления промышленностью страны, и сброс загрязненных сточных вод, содержащих взвешенные частицы, масла, эмульсии и травильные растворы, что нарушает кислородный режим водоемов.	[11], [12]
	Высокое энергопотребление, обуславливающее значительные выбросы парниковых газов и необходимость перехода на наилучшие доступные технологии (НДТ) для повышения энергоэффективности.	[12], [14]
	Сброс условно-чистых стоков с повышенной температурой, вызывающий термальное загрязнение водоемов и нарушающий условия существования водных экосистем.	[11]

Проведенный анализ наглядно демонстрирует, что этап металлургической переработки создает значительную и многокомпонентную нагрузку на все среды: атмосферу, водные ресурсы и земельные площади. Накопление твердых отходов, в особенности шлаков, формирует долгосрочные источники загрязнения. Это обуславливает острую необходимость в системном переходе к внедрению наилучших доступных технологий, развитию методов утилизации и переработки вторичных ресурсов в рамках концепции циркулярной экономики и «зеленой» металлургии.

Обсуждение

Актуальной тенденцией в развитии металлургической отрасли становится переход к принципам циркулярной экономики и «зеленой» металлургии, что подразумевает разработку и внедрение технологий, направленных на сокращение первичного ресурсопотребления и минимизацию образования отходов. Одним из перспективных направлений является комбинирование традиционных и новых технологий добычи и переработки руд, включая выщелачивание металлов непосредственно в подземных блоках, что позволяет повысить полноту извлечения полезных компонентов [23]. Особое внимание уделяется освоению техногенных месторождений – хвостов обогащения и других металлосодержащих отходов. Исследования демонстрируют эффективность механохимической активации процессов выщелачивания в дезинтеграторах, позволяющей извлекать от 50 до 80% металлов, ранее считавшихся безвозвратно потерянными [24, 26, 28]. Это не только упрочняет минерально-сырьевую базу, но и способствует решению острых экологических проблем горнодобывающих регионов.

Значительный потенциал снижения нагрузки на окружающую среду связан с комплексной переработкой специфических отходов металлургического производства. Например, для пылей электродуговой плавки, содержащих ценные металлы, разрабатываются и совершенствуются как пирометаллургические (например, вельц-процесс), так и более экологически безопасные гидрометаллургические методы, обеспечивающие селективное извлечение целевых компонентов [27]. Применение высококремнистых сплавов системы Al-Si открывает возможности для создания замкнутых производственных циклов в черной металлургии, позволяя многократно перерабатывать материал и снижать объемы образующихся отходов [25]. Современный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса предполагает их рассмотрение в качестве вторичных ресурсов, вовлечение которых в хозяйственный оборот является основой ресурсосбережения и приносит существенные экономические выгоды [29, 30]. Таким образом, формирование безотходных и малоотходных производственных процессов через внедрение наилучших доступных технологий становится ключевым фактором экологически устойчивого развития металлургии [31].

Многообразие разрабатываемых и внедряемых технологий позволяет систематизировать их по основным направлениям (см. Рис. 1).

Проведенный анализ свидетельствует о том, что современное развитие металлургии неразрывно связано с внедрением ресурсосберегающих и экологически ориентированных технологий. Наиболее перспективными являются методы, позволяющие не только снизить текущее негативное воздействие, но и ликвидировать накопленный экологический ущерб за счет вовлечения техногенных отходов в хозяйственный оборот. Комплексный подход, сочетающий гидро- и пирометаллургические процессы с механохимической активацией и созданием замкнутых производственных циклов, формирует основу для перехода к циркулярной экономике в металлургическом комплексе. Дальнейшая работа должна быть направлена на оптимизацию этих технологий, обеспечение их экономической целесообразности и создание необходимой нормативно-правовой базы для стимулирования их широкого промышленного внедрения.

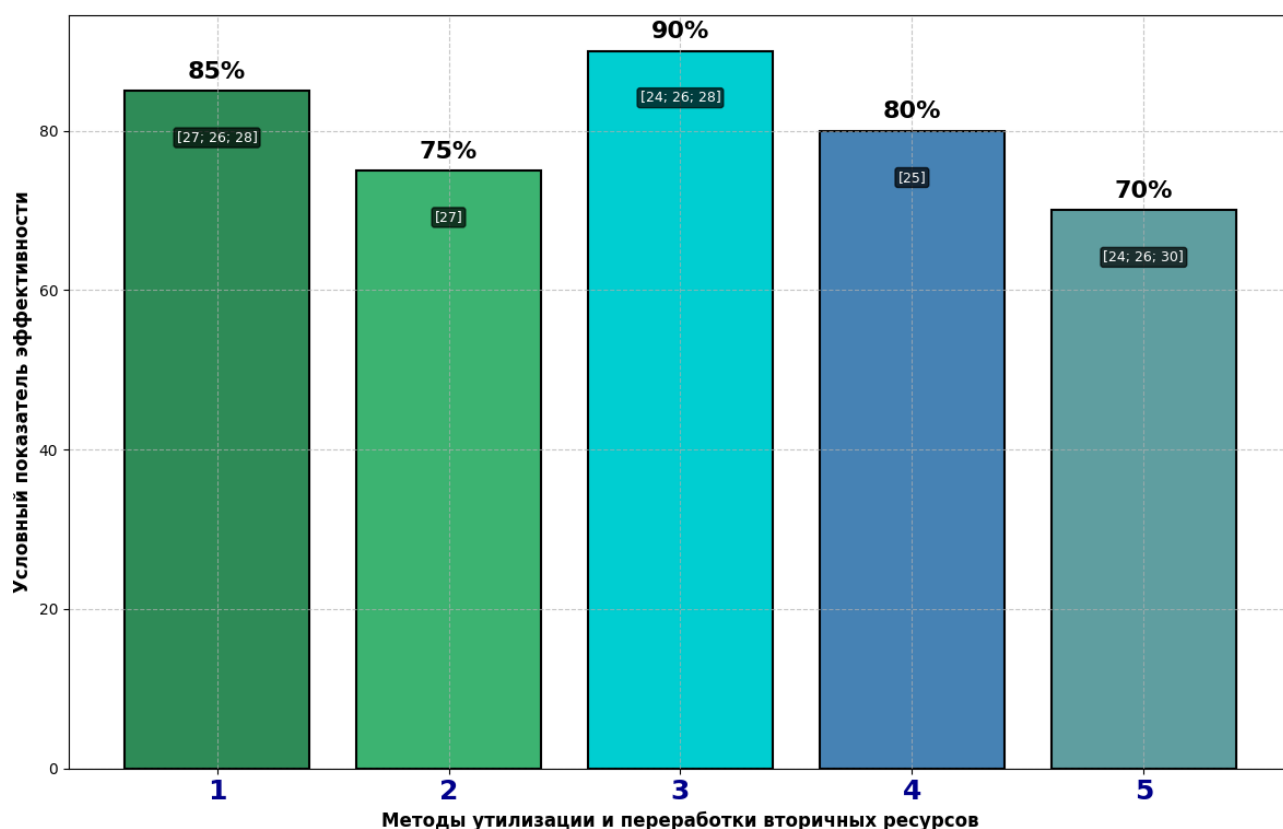


Рис. 1. Систематизация методов утилизации и переработки вторичных ресурсов в металлургии:

1. Гидрометаллургические и комбинированные методы;
2. Пирометаллургические методы; 3. Механохимическая активация;
4. Рециклинг и замкнутые циклы;
5. Комплексная утилизация и использование в строительстве
(составлено автором на основании [23-31])

Список литературы

1. Романович А. А., Орехова Т. Н., Мещеряков С. А., Прокопенко В. С. Технология получения минеральных добавок // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 188-192.
2. Вареникова Т. А., Смирнова М. А., Дороганов В. А. Корундовые легковесные огнеупоры на основе гидравлических вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 64-69.
3. Турсукова И. И., Байметова М. Г. Методический подход к оценке эффективности деятельности металлургического предприятия в условиях экологических рисков // Экономика, предпринимательство и право. 2024. Т. 14. №. 3. С. 277-288.
4. Медведева И. В., Амирова Е. В., Студенок Г. А., Цейтлин Е. М., Медведева О. М. Воздействие предприятий горно-металлургического комплекса Свердловской области на окружающую среду и направления его снижения // Известия Уральского государственного горного университета. 2023. №. 4 (72). С. 116-126.
5. Мурзин М. А., Тепина М. С. Влияние металлургического производства на состояние окружающей среды // Металлург. 2022. Т. 2. С. 51-54.
6. Абраменко Д. С. Оценка влияния металлургических заводов на окружающую среду (на примере Ульбинского металлургического завода) // Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты. 2023. С. 186-189.

7. Паукова Ю. С., Зубарева К. С. Экологические проблемы взаимодействия металлургического производственного комплекса с окружающей средой // Качество в производственных и социально-экономических системах. 2021. С. 99-103.

8. Размахнин К. К., Хатькова А. Н., Шумилова Л. В. Сорбционные технологии как инструмент экологической безопасности металлургического производства // Металлургия цветных, редких и благородных металлов. 2022. С. 287-290.

9. Когденко В. Г., Казакова Н. А. Обоснование параметров экологической безопасности и устойчивости развития металлургического производства // Проблемы прогнозирования. 2023. №. 1. С. 169-181.

10. Макаров А. Б., Талалай А. Г., Гуман О. М., Хасанова Г. Г. Техногенные месторождения и особенности их воздействия на природную окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2022. Т. 3. С. 120-129.

11. Турашев Б. М., Ермуханова С. Т. Экологические проблемы черной металлургии и методы ее снижения // Endless light in science. 2025. №. 28 февраль ЭН. С. 44-47.

12. Григорьева Е. Е., Файфер И. Н. Основные источники экологических проблем металлургического комплекса в Российской Федерации и возможные пути их решения // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ'2022). Екатеринбург, 2022. С. 69-74.

13. Глушковая Н. Б., Тритенко А. М. Развитие металлургического производства на Кольском полуострове // Исторический подход в географии и геоэкологии. 2023. С. 210-215.

14. Федорова В. С., Маланина О. В. «Зеленая» металлургия как способ экологически чистого производства // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная. 2021. С. 326-330.

15. Юркевич Н. В. И др. Техногенное воздействие на окружающую среду в Российской Арктике на примере Норильского промышленного района / Н. В. Юркевич, И. Н. Ельцов, В. Н. Гуреев, Н. А. Мазов, Н. В. Юркевич, А. В. Еделев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. №. 12. С. 230-249.

16. Валуев Н. П., Машинцов Е. А., Юданов П. М. Техногенное воздействие радиоактивного загрязнения продуктов плавки металла на окружающую среду и население // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2021. №. 1. С. 3-13.

17. Сосновский Е. Я., Смердов П. Е., Астафьев А. М., Астафьева О. М. Влияние выбросов металлургического завода на компоненты сосновых насаждений в зоне сильного поражения // XXV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета (г. Нижневартовск, 4-5 апреля 2023 г.) / Под общей ред. Д.А. Погонишева. Ч. 1. Биология. Экология. География. Безопасность жизнедеятельности. Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2023. С. 145.

18. Кислицына В. В., Суржигов Д.В., Голиков Р.А., Корсакова Т.Г. Оценка риска для здоровья населения промышленного города от влияния выбросов металлургического предприятия // Медицина в Кузбассе. 2022. Т. 21. №. 3. С. 75-79.

19. Зассеев А. А., Зассеева Л. А. Охрана окружающей среды посредством утилизации отходов металлургического производства // Современные тенденции развития информационных технологий в научных исследованиях и прикладных областях. 2021. С. 35-37.

20. Нахичеванская Н. В., Коротков В. В., Трухина Г. М., Савельев С. И. Изучение специфики влияния развитой металлургической промышленности в индустриальном центре на здоровье населения // Здравоохранение Российской Федерации. 2022. Т. 66. №. 2. С. 152-159.

21. Алиева Э. Р., Доценко Н. В. Пыль очистки отходящих газов сталеплавильного производства и ее влияние на окружающую среду // Образование. Наука. Производство. 2021. С. 1366-1369.

22. Тлеуова С. Т., Шингисбаева Ж. А., Мисюченко В. М., Алтынбек А. Анализ экологического воздействия отходов металлургии на окружающую среду // Научно-

образовательные дискуссии: фундаментальные и прикладные исследования. 2021. С. 44-49.

23. Голик В. И., Титова А. В. Упрочнение ресурсной базы металлургии комбинированием технологий добычи руд // Горная промышленность. 2022. №. 5. С. 105-111.

24. Голик В. И., Титова А. В. Перспективы увеличения минеральной базы цветной металлургии // Горная промышленность. 2024. №. 3. С. 77-84.

25. Шляров В. В., Шлярова Ю. А., Бащенко Л. П., Загуляев Д. В. Уменьшение количества отходов и внедрение экологически безопасных и эффективных производственных процессов при использовании высококремнистых сплавов системы Al-Si // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. 2025. Т. 68. №. 3. С. 239-247.

26. Титова А. В., Голик В. И. Перспективы увеличения минеральной базы цветной металлургии // Горная промышленность. 2021. №. 1. С. 61-68.

27. Топоркова Ю. И., Блудова Д., Мамяченков С. В., Анисимова О. С. Обзор методов переработки пылей электродуговой плавки // iPolytech Journal. 2021. Т. 25. №. 5 (160). С. 643-680.

28. Голик В. И., Ключев Р. В., Зюкин Д. А., Карлина А. И. Перспективы возвращения потерянных в хвостах переработки руд ценных компонентов цветных металлов // Металлург. 2023. №. 1. С. 92-97.

29. Литвинова Т. Е., Сучков Д. В. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минеральносырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. №. 6-1. С. 331-348.

30. Лепков А. С., Луковцева А. К. Ресурсосбережение и экономические выгоды вторичной переработки // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2021. №. 1. С. 167-175.

31. Ульева Г. А., Туысхан К., Мацугина Е. М., Волокитина И. Е., Ахметова Г. Е. Современное состояние проблемы утилизации отходов производства // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. 2025. Т. 68. №. 2. С. 131-138.

References

1. A. A. Romanovich, T. N. Orekhova, S. A. Meshcheryakov, V. S. Prokopenko Technology of obtaining mineral additives // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. - 2015. - No. 5. - pp. 188-192.

2. T. A. Varenikova, M. A. Smirnova, V. A. Doroganov Corundum lightweight refractories based on hydraulic binders // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. - 2017. - No. 5. - pp. 64-69.

3. Tursukova I. I., Baymetova M. G. Methodological approach to assessing the effectiveness of a metallurgical enterprise in the context of environmental risks // Economics, entrepreneurship and law. - 2024. - Vol. 14. - No. 3. - pp. 277-288. (In Russian)

4. Medvedeva I. V., Amirova E. V., Studenok G. A., Tseitlin E. M., Medvedeva O. M. The impact of enterprises of the mining and metallurgical complex of the Sverdlovsk region on the environment and ways to reduce it // Proceedings of the Ural State Mining University. - 2023. - №. 4 (72). - pp. 116-126. (In Russian)

5. Murzin M. A., Tepina M. S. The impact of metallurgical production on the environment // Metallurgist. - 2022. - Vol. 2. - pp. 51-54. (In Russian)

6. Abramenko D. S. Assessment of the impact of metallurgical plants on the environment (on the example of the Ulba Metallurgical Plant) // Interdisciplinary approaches in biology, medicine and Earth sciences: theoretical and applied aspects. - 2023. - pp. 186-189. (In Russian)

7. Paukova Yu.S., Zubareva K. S. Ecological problems of interaction of the metallurgical production complex with the environment // Quality in production and socio-economic systems. - 2021. pp. 99-103. (In Russian)

8. Razmakhnin K. K., Khatkova A. N., Shumilova L. V. Sorption technologies as an instrument of environmental safety of metallurgical production // Metallurgy of non-ferrous, rare and precious metals. - 2022. pp. 287-290. (In Russian)

9. Kogdenko V. G., Kazakova N. A. Substantiation of environmental safety parameters and sustainability of metallurgical production development // Forecasting problems. – 2023. – No. 1. – pp. 169-181. (In Russian)
10. Makarov A. B., Talalai A. G., Guman O. M., Khasanova G. G. Technogenic deposits and features of their impact on the natural environment // News of higher educational institutions. Mining Journal. – 2022. – Vol. 3. – pp. 120-129. (In Russian)
11. Turashev B. M., Ermukhanova S. T. Environmental problems of ferrous metallurgy and methods of its reduction // Endless light in science. – 2025. – No. 28 February ED. – pp. 44-47. (In Russian)
12. Grigorieva E. E., Fifer I. N. The main sources of environmental problems of the metallurgical complex in the Russian Federation and possible ways their solutions // Thermal engineering and computer science in education, science and production (TIM'2022). Yekaterinburg, 2022. – 2022. – pp. 69-74. (In Russian)
13. Glushkovskaya N. B., Tritenko A.M. Development of metallurgical production on the Kola Peninsula // Historical approach in geography and geoecology. – 2023. pp. 210-215. (In Russian)
14. Fedorova V. S., Malanina O. V. «Green» metallurgy as a method of environmentally friendly production //The environment surrounding a person: natural, man-made, social. - 2021. – pp. 326-330. (In Russian)
15. Yurkevich N. V. et. al. Anthropogenic impact on the environment in the Russian Arctic on the example of the Norilsk industrial region / N. V. Yurkevich, I. N. Yeltsov, V. N. Gureev, N. A. Mazov, N. V. Yurkevich, A.V. Edelev //Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2021. Vol. 332. no. 12. pp. 230-249. (In Russian)
16. Valuev N. P., Mashintsov E. A., Yudanov P.M. Technogenic effect of radioactive contamination of metal smelting products on the environment and the population // Proceedings of Tula State University. Earth Sciences. – 2021. – №. 1. – pp. 3-13. (In Russian)
17. Sosnovsky E. Ya., Smerdov P. E., Astafiev A.M., Astafieva O. M. The effect of emissions from a metallurgical plant on the components of pine plantations in the heavily affected area // XXV All-Russian Student Scientific and Practical Conference of Nizhnevartovsk State University (Nizhnevartovsk, April 4-5, 2023) / General editor D.A. Pogonyshchev. Part 1. Biology. Ecology. Geography. Life Safety. Nizhnevartovsk: NVSU Publishing House, 2023. P. 145. (In Russian)
18. Kisilitsyna V. V., Surzhikov D.V., Golikov R.A., Korsakova T.G. Assessment the risk to the health of the population of an industrial city from the impact of emissions from a metallurgical enterprise]// Medicine in Kuzbass. – 2022. – Vol. 21. – No. 3. – pp. 75-79. (In Russian)
19. Zasseev A. A., Zasseeva L. A. Environmental protection through waste disposal of metallurgical production // Current trends in the development of information technologies in scientific research and applied fields. – 2021. pp. 35-37. (In Russian)
20. Nakhichevanskaya N. V., Korotkov V. V., Trukhina G. M., Savelyev S. I. Studying the specifics of the impact of the developed metallurgical industry in the industrial center on public health] // Healthcare of the Russian Federation. – 2022. – Vol. 66. – No. 2. – pp. 152-159. (In Russian)
21. Alieva E. R., Dotsenko N. V. Waste gas purification dust from steelmaking and its impact on the environment // Education. Science. Production. – 2021. – pp. 1366-1369. (In Russian)
22. Tleuova S. T., Shingisbayeva Zh. A., Misyuchenko V. M., Altynbek A. Analysis of the environmental impact of metallurgical waste on the environment // Scientific and educational discussions: fundamental and applied research. – 2021. pp. 44-49. (In Russian)
23. Golik V. I., Titova A.V. Strengthening the resource base of metallurgy by combining ore mining technologies // Mining industry. – 2022. – No. 5. – pp. 105-111. (In Russian)
24. Golik V. I., Titova A.V. Prospects of increasing the mineral base of non-ferrous metallurgy // Mining industry. – 2024. No. 3. pp. 77-84. (In Russian)
25. Shlyarov V. V., Shlyarova Yu. A., Baschenko L. P., Zagulyaev D. V. Waste reduction and introduction of environmentally safe and efficient production processes using high-silicon

alloys of the Al–Si system // News of higher educational institutions. Ferrous Metallurgy. – 2025. – Vol. 68. – No. 3. – pp. 239-247. (In Russian)

26. Titova A.V., Golik V. I. Perspektivy uvelicheniya mineral'noj bazy cvetnoj metallurgii // Mining industry. – 2021. – No. 1. – pp. 61-68. (In Russian)

27. Toporkova Yu. I., Bludova D., Mamyachenkov S. V., Anisimova O. S. Review of methods for processing electric arc melting dusts // iPolytech Journal. – 2021. – Vol. 25. – №. 5 (160). – pp. 643-680. (In Russian)

28. Golik V. I., Klyuev R. V., Zyukin D. A., Karlina A. I. Prospects for the return of valuable components of non-ferrous metals lost in the tailings of ore processing // Metallurgist. – 2023. – №. 1. – pp. 92-97. (In Russian)

29. Litvinova T. E., Suchkov D. V. An integrated approach to the disposal of man-made waste from the mineral resource complex // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). - 2022. – No. 6-1. – pp. 331-348. (In Russian)

30. Lepkov A. S., Lukovtseva A. K. Resource conservation and economic benefits of recycling // Fundamental and applied research of the cooperative sector of the economy. – 2021. – No. 1. – pp. 167-175. (In Russian)

31. Uleva G. A., Tuyskhan K., Matsugina E. M., Volokitina I. E., Akhmetova G. E. The current state of the problem of industrial waste disposal // News of higher educational institutions. Ferrous Metallurgy. – 2025. – Vol. 68. – No. 2. – pp. 131-138. (In Russian)