

АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА, СОЗДАВАЕМОГО ГОРНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

В.И. Силаев¹, Р.В. Ключев², Д.В. Еремеев^{3,4}, Т.А. Мартынова³, Ю.В. Данильченко³

¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),

Владикавказ, РСО-Алания, Россия, e-mail: wadym.silaeff@yandex.ru

² Московский политехнический университет, Москва, Россия

³ Сибирский государственный университет науки и технологий
им. М.Ф. Решетнёва, Красноярск, Россия

⁴ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Аннотация: Рассмотрены вопросы устойчивого развития регионов, которые напрямую связаны с модернизацией горнодобывающей и перерабатывающей отрасли. Экологическая ответственность горных предприятий становится центральным вопросом при разработке стратегии развития множества российских и зарубежных компаний. Представлен анализ данных по экологии производства и выбросам парниковых газов при добыче полезных ископаемых. Выявлены методологические сложности измерения углеродного следа, которые включают в себя как прямые выбросы на предприятии, так и косвенные выбросы, связанные с производством электроэнергии, тепла, а также сырья и комплектующих. Установлены три группы предприятий в горной отрасли, которые применяют различные подходы к декарбонизации. Проведен сравнительный анализ российских и зарубежных компаний по выбросам парниковых газов, потреблению энергии и воды, образованию отходов. Анализ углеродного следа позволил оценить влияние различных факторов и стратегий на выбросы парниковых газов в горной отрасли. Исследованиями учтены региональные и глобальные особенности влияния выбросов углеродных соединений, технико-экономические показатели горных предприятий.

Ключевые слова: углеродный след, глобальные изменения климата, экология, энергетика, горнодобывающая и горноперерабатывающая промышленность, декарбонизация, синтетические модели, «углеродный налог».

Для цитирования: Силаев В. И., Ключев Р. В., Еремеев Д. В., Мартынова Т. А., Данильченко Ю. В. Анализ углеродного следа, создаваемого горными предприятиями // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 265–277. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_265.

Analysis of the carbon footprint created by mining enterprises

V.I. Silaev¹, R.V. Klyuev², D.V. Ereemeev^{3,4}, T.A. Martynova³, Yu.V. Danilchenko³

¹ North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),
Vladikavkaz, RNO-Alania, Russia, e-mail: wadym.silaeff@yandex.ru

² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

³ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

⁴ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article is devoted to the issues of sustainable development of regions. These issues are directly related to the modernization of the mining and processing industries. The environmental responsibility of mining enterprises is becoming a central issue when developing development strategies for many Russian and foreign companies. An analysis of data on the ecology of production and greenhouse gas emissions during mining is presented. Methodological difficulties in measuring carbon footprints have been identified, which include both direct emissions at the enterprise and indirect emissions associated with the production of electricity, heat, as well as raw materials and components. We have identified 3 groups of enterprises in the mining industry that are taking different approaches to decarbonization. A comparative analysis of Russian and foreign companies on greenhouse gas emissions, energy and water consumption, and waste generation was carried out. The carbon footprint analysis allowed us to assess the impact of various factors and strategies on greenhouse gas emissions in the mining industry. The research took into account regional and global features of the influence of carbon emissions, technical and economic indicators of mining enterprises.

Key words: carbon footprint, global climate change, ecology, energy, mining and mineral processing industry, decarbonization, synthetic models, carbon tax.

For citation: Silaev V. I., Klyuev R. V., Ereemeev D. V., Martynova T. A., Danilchenko Yu. V. Analysis of the carbon footprint created by mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(11-1):265-277. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_265.

Введение

Вопросы устойчивого развития напрямую связаны с повсеместным использованием экологически чистой энергии и модернизацией горнодобывающей и перерабатывающей отрасли. Все чаще поднимается вопрос об экологии производства и содержании парниковых газов при добыче полезных ископаемых. Одним из ключевых аспектов устойчивого развития является оценка воздействия горных предприятий на окружающую среду, а именно оценка углеродного следа — показателя, который становится неотъемлемой частью экономической модели, связанной с выдачей «зеленых» сертификатов при производстве товаров, а также с оплатой «углеродного налога» [1, 2].

Становятся крайне важными научные исследования углеродного следа, создаваемого горной промышленностью. Необходимо учитывать взаимосвязь экологических и экономических факторов,

влияющих на технологии, позволяющие сохранить эффективность производства, рабочие места, и при этом снижать экологическую нагрузку, а также соблюдать договоренности, которые подписала Российская Федерация (Парижское соглашение по климату 2015 г.) [3].

Для этого необходимо проводить комплексный анализ негативного влияния горных предприятий на окружающую среду [4], который позволит сформировать рекомендации для разработки и внедрения организационных и технических решений по снижению выбросов парниковых газов и улучшению общей экологической обстановки в горной промышленности [5 — 7].

Экономические и технологические аспекты горнодобывающей промышленности неотделимы от вопросов устойчивости, и в этом контексте анализ углеродного следа становится ключевым инструментом для выявления «узких

мест», где можно внедрить инновационные подходы к управлению выбросами [8–10], которые используются на ведущих зарубежных предприятиях горной отрасли, а также улучшить энергоэффективность и увеличить использование атомной и гидроэнергии [11, 12].

Такой подход к анализу углеродного следа горнодобывающей промышленности не только соответствует современным требованиям в области защиты окружающей среды, но и способствует формированию устойчивой, эффективной и конкурентоспособной отрасли в долгосрочной перспективе, которая может преодолевать все заградительные экономические меры для промышленности, использующей ископаемое топливо [13].

Анализ углеродного следа горнодобывающей промышленности представляет собой комплексный подход к измерению и оценке объема парниковых газов, выделяемых при добыче и обработке полезных ископаемых. Этот вид анализа охватывает не только прямые выбросы (категория Score 1), но и косвенные выбросы, связанные с производством электроэнергии, тепла, а также сырья и комплектующих, использующихся на различных этапах технологической цепочки (категории Score 2 и Score 3). Такой дифференцированный подход позволяет получить полное представление о воздействии горнодобывающей промышленности на окружающую среду [14–16].

В силу отсутствия обязательных нормативов в России до недавнего времени компании этой отрасли не всегда предоставляли достаточно подробную информацию о своих выбросах парниковых газов. Однако с введением закона об ограничении выбросов парниковых газов с 2023 г. обязательная отчетность от крупных предприятий становится важным инструментом не только для соблюдения законодательных требований,

но и для создания прозрачности в деятельности горнодобывающей и перерабатывающей отрасли. Эффективный анализ углеродного следа, созданного горнодобывающей промышленностью, не только определяет степень ее воздействия на окружающую среду, но и выявляет потенциал для внедрения инновационных технологий, направленных на уменьшение выбросов парниковых газов [17–19].

Попытки переломить тенденцию роста парниковых газов были предприняты весной 2009 г. («Директива по возобновляемым источникам энергии»), осенью 2009 г. «Третий энергетический пакет») и весной 2010 г. («Целевая модель европейского газового рынка»). Однако переход на новый энергетический уклад, базирующийся на использовании исключительно возобновляемых источников энергии (ВИЭ), невозможен, и приводит к потере устойчивости промышленности и энергетического сектора. Так, с начала 2023 г. в Германии закрылось более 356 тыс. предприятий, занятых в промышленности, что 23% больше, чем в 2022 г. [1]. При этом наблюдается сокращение промышленного производства не только в Германии, но и в Италии, Британии и Польше [1]. Все это напрямую связано с энергетическим кризисом, который не позволяет выжить энергоемким производствам в странах, где наблюдается нехватка «свободной энергии» [20].

Парниковые газы представляют собой обобщенное название для нескольких газов, включая углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), закись азота (N_2O) и газы, содержащие фтор. Увеличение выбросов этих газов в атмосферу связано с различными видами деятельности: сжигание ископаемого топлива, изменение вида земельного использования, а также сокращение площади лесных массивов. Среди парниковых газов углекислый газ занимает основное место по объему выб-



Рис. 1. Стоимость выбросов за 1 т CO₂-экв., руб.

Fig. 1. The cost of emissions per 1 ton of CO₂-eq. in rubles

росов (72%). Вторым по значимости газом среди парниковых является метан (19%).

Количественные оценки выбросов парниковых газов обычно выражаются в эквиваленте углекислого газа (CO₂-эквивалент), что позволяет учитывать вклад разных газов в глобальное потепление.

Согласно концепции трансграничного корректирующего углеродного механизма (СВАМ), производители из стран, не имеющих собственных внутренних механизмов углеродного регулирования, в том числе Россия, обязаны будут при ввозе в Евросоюз цемента, удобрений, электроэнергии, железа, стали и алюминия приобретать специальные углеродные сертификаты. Эти сертификаты представляют собой квоты на выбросы газов и служат инструментом для оценки и регулирования углеродного следа производимых товаров. Стоимость выбросов 1 т CO₂-экв. представлена на рис. 1.

Исследование углеродного следа горных комплексов становится все более актуальным и требует дополнительного исследования для разработки эффективных стратегий сокращения углеродных выбросов и соблюдения международных норм и стандартов в области климатической устойчивости. Ведь переход к углеродной нейтральности общемировой

тренд, а Российская Федерация, обладающая колоссальными ресурсами и развитым топливно-энергетическим комплексом, имеет одну из лучших позиций в эпоху глобальных кризисов.

Методы

Для более глубокого исследования проблемы «углеродного следа» в производственных цепочках горных комплексов и горно-перерабатывающих предприятиях необходимо создать и использовать прогнозные и аналитические модели. Этими свойствами обладают синтетические модели, учитывающие как глобальные данные, так и локальные, позволяющие оценивать схожие компании по потреблению электроэнергии, использованию воды и образованию отходов [21, 22].

По группам предприятий А, В, С и D были проанализированы массивы данных с 2000 по 2023 гг.

Синтетические модели более стабильны, описывают влияние сезонных колебаний, разницу в отчетах и позволяют получать информацию по выбросам парниковых газов с учетом всех баз данных.

Синтетические модели создаются согласно заданным правилам и параметрам, основанным на наблюдениях и статистических данных, чтобы исследовать воздействие различных производствен-

ных процессов на состояние. С другой стороны, синтетические тесты применяются для оценки качества и эффективности моделей. Эти тесты помогают выявить потенциально «слабые» места в модели, проверить точность данных на более длительном временном интервале путем моделирования, а также оценить точность и надежность без необходимости больших капиталовложений и в сжатые сроки.

В исследовании синтетические модели и тесты служат инструментами для более глубокого понимания углеродного следа, создаваемого горными предприятиями, и могут способствовать разработке стратегий для улучшения энергоэффективности технологических цепочек.

Регрессионный анализ является статистическим методом, который позволяет исследователям определить связи между зависимой переменной и одной или несколькими независимыми переменными.

В исследовании зависимой переменной является уровень выбросов углеродных соединений и энергопотребление, а независимыми переменными — тип используемого топлива, технологии производства, инфраструктура и другие.

Применение машинного обучения (МО) и нейронных сетей [23] в синтетических моделях и тестах для анализа углеродного следа горной промышленности представляет современный и инновационный подход, способствующий более точной оценке воздействия отрасли на окружающую среду.

МО применяется для анализа объемов выбросов углерода и других парниковых газов с учетом синтетических моделей, созданных на основе баз данных профильных лабораторий кафедры «Электроснабжения промышленных предприятий» Северо-Кавказского горно-металлургического института. Это поз-

воляет более точно определить углеродный след в горной промышленности.

Нейронные сети также могут использоваться для оценки эффективности различных мероприятий по снижению углеродного следа [24].

МО помогает определить оптимальные стратегии и технологии для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Результаты исследований

Российские компании группы А

Производственные мощности группы предприятий А: 7 рудников, 4 карьера, 4 горно-обоганительных комплекса и другие промышленные комплексы. Эта группа предприятий является передовой, т.к. начинает форсированно переходить на новые стандарты. Прежде всего, они ориентированы на европейский и американский рынки. Но также начинается переориентация на азиатский рынок.

Существуют методологические сложности в оценке углеродного следа. Он может быть учтен как по «прямым» выбросам, производимым на конкретных предприятиях (категория Score 1), так и путем учета «косвенных» выбросов, связанных с предыдущими этапами технологической цепи, такими как производство электроэнергии, тепла (категория Score 2), сырья и комплектующих (Score 3), которые использовались на предприятиях (рис. 2—4). Поэтому надо рассматривать данные вопросы более детально.

Группа предприятий В

Производственные мощности группы предприятий В: 3 горных, 3 обоганительных комплекса, 5 карьеров, 2 рудника, 9 горно-перерабатывающих комплексов.

Все результаты регрессионного анализа позволили сделать вывод о том, что это компании, которые двигаются

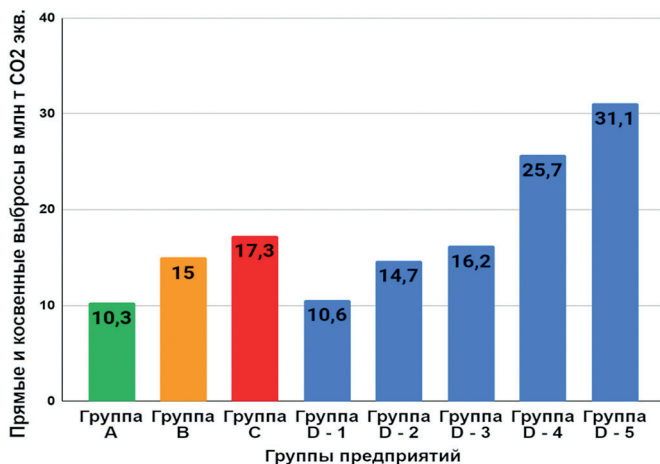


Рис. 2. Сравнение объемов выбросов парниковых газов на 2021 г. по лидерам рынка, имеющим горные комплексы в отрасли

Fig. 2. Comparison of greenhouse gas emissions for 2021 by market leaders with mining complexes in industry



Рис. 3. Образование отходов по классу опасности

Fig. 3. Waste generation by hazard class

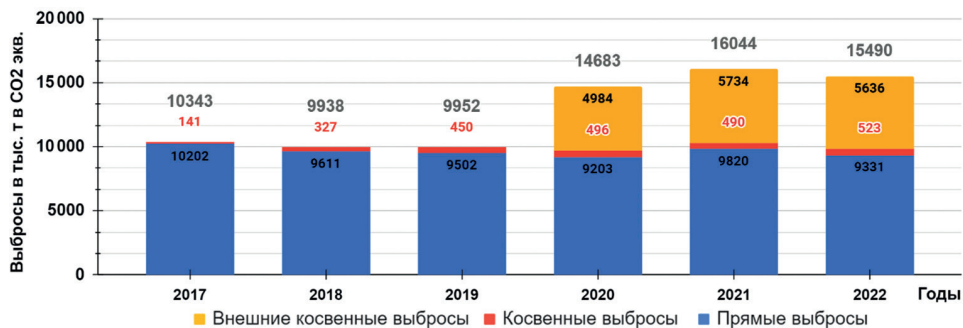


Рис. 4. Показатели выбросов парниковых газов по группе А

Fig. 4. Indicators of greenhouse gas emissions by group A

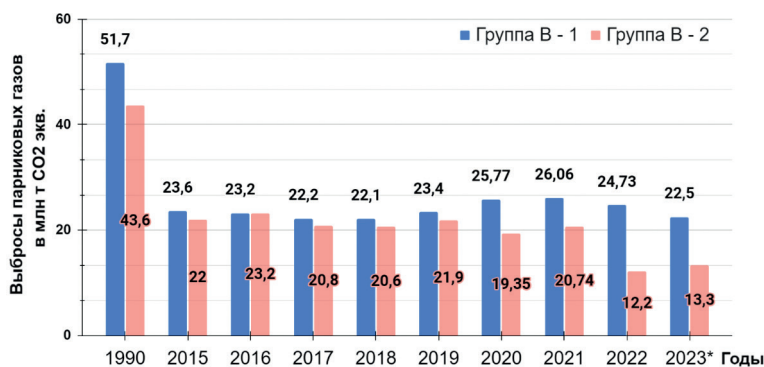


Рис. 5. Выбросы парниковых газов горного комплекса группы В, 1990–2023 гг. (данные были представлены за 9 месяцев 2023 г.)

Fig. 5. Greenhouse gas emissions of the mining complex of group B, 1990–2023 (since data were submitted for 9 months of 2023)



Рис. 6. Образование отходов по классу опасности

Fig. 6. Waste generation by hazard class

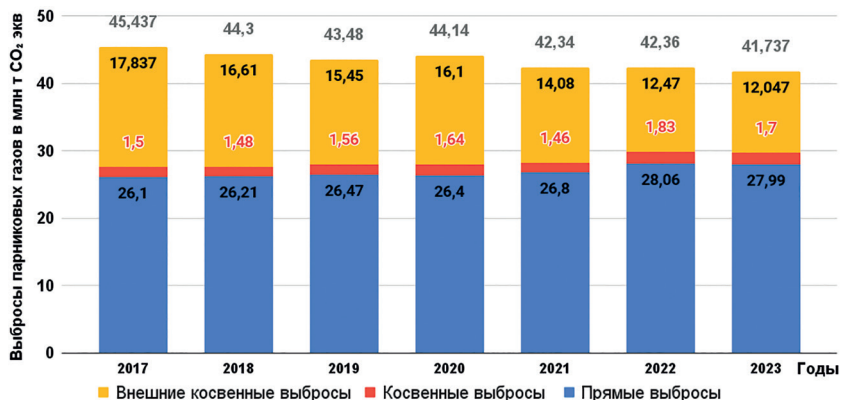


Рис. 7. Показатели выбросов парниковых газов по группе В

Fig. 7. Indicators of greenhouse gas emissions by group B



Рис. 8. Показатели выбросов парниковых газов по группе С

Fig. 8. Indicators of greenhouse gas emissions by group С

поступательно к новым стандартам (см. рис. 5–7). Они ориентированы на азиатский рынок.

Группа предприятий С

Производственные мощности группы предприятий С: 6 горных, 6 обогатительных комплексов, 7 карьеров, 3 рудника, 9 предприятий, разрабатывающих россыпные месторождения, 3 гранильных предприятия.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что группа предприятий С — это компании, которые на-

ходятся на переходном пути от западных рынков к азиатским. При этом имеют в своих активах предприятия, которые отличаются друг от друга технологическими инновациями, степенью внедрения «зеленой энергетики» и использования цифровых технологий индустрии 4.0. в рамках единой компании («компания двух скоростей») (рис. 8–10).

Таким образом, можно заметить, что российские компании из группы А превосходят аналогичные компании из зарубежных стран. Однако от них не отстают и предприятия из групп В и С.



Рис. 9. Сброс загрязняющих веществ в водные объекты

Fig. 9. Discharge of pollutants into water bodies

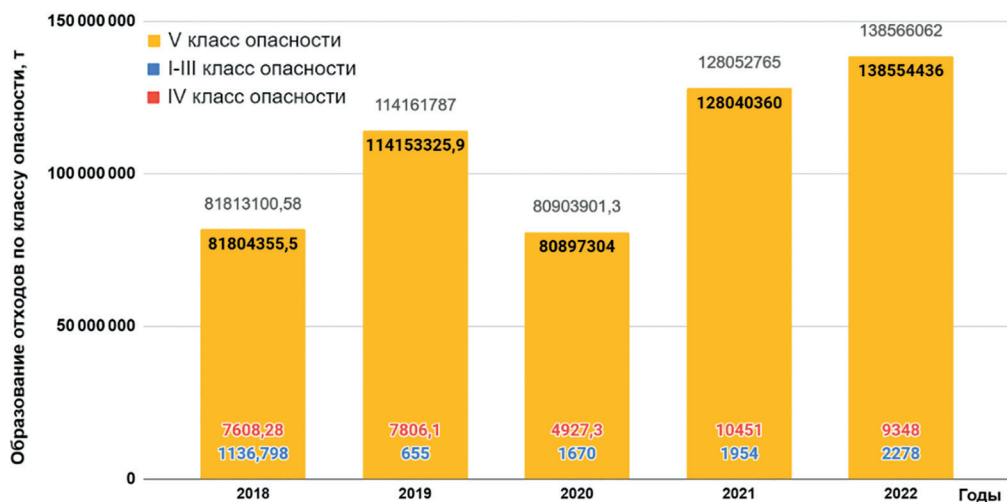


Рис. 10. Образование отходов по классу опасности
 Fig. 10. Waste generation by hazard class

Компании с более прогрессивными и эффективными методами управления ресурсами и производством часто демонстрировали более низкий углеродный след. Это может быть связано с внедрением новых технологий, управлением энергосбережением или другими политическими решениями, способствующими сокращению выбросов парниковых газов.

Заключение

Некоторые компании в России, такие как ПАО «ГМК «Норильский Никель», ПАО «Северсталь», ПАО «АК АЛРОСА», ПАО «Русал» и ПАО «НЛМК», уже активно делятся информацией о своем углеродном следе, но не все компании в Российской Федерации следуют их примеру. До недавнего времени в российской нормативно-правовой сфере не существовало обязательных требований к компаниям относительно предоставления информации о выбросах парниковых газов.

Для сравнения с российскими предприятиями группы А, группы В, группы С были также проанализированы данные зарубежных компаний (группа D),

куда вошли лидеры международного рынка, такие как BHP Billiton, Rio Tinto, Vale, Glencore, Anglo American и др.

Установлено, что рост выбросов парниковых газов выше плановых начался в III квартале 2021 г., с началом энергетического кризиса.

Сравнение российских и зарубежных компаний позволило установить следующие тенденции: российское производство стремится стать более экологичным, европейское или американское — напротив, пытается сохранить хотя бы прежние объемы выпуска продукции.

Исходя из проведенного анализа, установлены три группы предприятий в горной отрасли, которые применяют различные подходы к декарбонизации.

Необходимо отметить увеличение доли ВИЭ и проведение комплексной модернизации горных предприятий в России.

Анализ углеродного следа позволил оценить влияние различных факторов и стратегий на выбросы парниковых газов в горной отрасли. Исследованиями учитывались региональные и глобальные особенности влияния выбросов углеродных соединений, технико-экономические показатели горных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ivanova D., Wieland H.* Tracing carbon footprints to intermediate industries in the United Kingdom // *Ecological Economics*. 2023, vol. 214, article 107996. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2023.107996.
2. *Shutaleva A., Nikonova Z., Savchenko I., Martyushev N.* Environmental education for sustainable development in Russia // *Sustainability*. 2020, vol. 12, no. 18, article 7742. DOI: 10.3390/su12187742.
3. *Плаkitкин Ю. А., Плаkitкина Л. С.* Парижское соглашение как фактор ускорения «энергетического перехода»: меры по адаптации угольной отрасли к новым вызовам // *Уголь*. — 2021. — № 10. — С. 19–23. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-19-23.
4. *Куликова А. А., Овчинникова Т. И.* Региональный критерий отнесения горнопромышленных регионов к территориям с наибольшей подверженностью геоэкологическим изменениям // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 27–34. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-27-34.
5. *Джиоева А. К.* Перспективы экологизации горного производства для снижения вредных выбросов в атмосферу // *Уголь*. — 2022. — № 10. — С. 29–32. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-29-32.
6. *Бадалян Л. Х., Курдюков В. Н., Овчаренко А. М., Кучеренко С. В.* Метод определения предельно допустимой нагрузки на экосистему // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 430–439. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-430-439.
7. *Зиновьева О. М., Колесникова Л. А., Меркулова А. М., Смирнова Н. А.* Управление экологическими рисками на горнодобывающих предприятиях // *Уголь*. — 2022. — № 3. — С. 76–80. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.
8. *Уланов В. Л., Скоробогатько О. Н.* Влияние трансграничного углеродного регулирования ЕС на экономическую эффективность российской нефтепереработки // *Записки Горного института*. — 2022. — Т. 257. — С. 865–876. DOI: 10.31897/PMI.2022.83.
9. *Yan P., Ma Zh., Li H., Gong P., Xu M., Chen T.* Laboratory tests, field application and carbon footprint assessment of cement-stabilized pure coal solid wastes as pavement base materials // *Construction and Building Materials*. 2023, vol. 366, article 130265. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.130265.
10. *Norouzi M., Haddad A. N., Jiménez L., Hoseinzadeh S., Boer D.* Carbon footprint of low-energy buildings in the United Kingdom: Effects of mitigating technological pathways and decarbonization strategies // *Science of The Total Environment*. 2023, vol. 882, article 163490. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163490.
11. *Silae V. I., Gavrina O. A., Kuzina A. V.* The problem of renewable energy sources and market mechanisms in various energy systems in the era of global crises / 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). Magnitogorsk, 2023, pp. 83–88. DOI: 10.1109/UralCon59258.2023.10291161.
12. *Klyuev R. V., Morgoev I. D., Morgoeva A. D., Gavrina O. A., Martyushev N. V., Efremkov E. A., Mengxu Q.* Methods of forecasting electric energy consumption: A literature review // *Energies*. 2022, vol. 15, article 8919. DOI: 10.3390/en15238919.
13. *Зиновьева О. М., Колесникова Л. А., Меркулова А. М., Смирнова Н. А.* К вопросу оценки экологического состояния окружающей среды для достижения устойчивого развития угледобывающих регионов России // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 35–43. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-35-43.
14. *Jin H.* Analyzing factors and resource policymaking options for sustainable resource management and carbon neutrality in mining industry: Empirical study in China // *Resources Policy*. 2023, vol. 86, part B, article 104185.
15. *Семячков А. И., Почечун В. А.* Методологические основы оценки воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 215–223. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-215-223.

16. Крупская Л., Куликова Е., Филатова М., Леоненко А. Оценка воздействия техногенной системы на воздушный бассейн с применением методов математической статистики // *Экология и промышленность России*. — 2023. — № 27(8). — С. 50–57. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-8-50-57.

17. Siming Yu, Xun Wang, Jiaming Liu, Fang Wei. Role of mining waste trade on green development in China: Policy implications for circular economy // *Resources Policy*. 2023, vol. 86, part A, article 104147.

18. Копылов А. С., Джиоева А. К., Кондратьев Ю. И. Комплексный подход к освоению сырьевой базы горнодобывающего региона с применением ресурсовоспроизводящих технологий // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 228–239. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-228-239.

Литературу с п. 19 по п. 24 смотри в REFERENCES. **ПИАБ**

REFERENCES

1. Ivanova D., Wieland H. Tracing carbon footprints to intermediate industries in the United Kingdom. *Ecological Economics*. 2023, vol. 214, article 107996. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2023.107996.

2. Shutaleva A., Nikonova Z., Savchenko I., Martyushev N. Environmental education for sustainable development in Russia. *Sustainability*. 2020, vol. 12, no. 18, article 7742. DOI: 10.3390/su12187742.

3. Plakitkin Yu. A., Plakitkina L. S. Paris agreement on Climate Change as a driver to accelerate energy transition: measures to adapt the coal sector to new challenges. *Ugol'*. 2021, no. 10, pp. 19–23. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-19-23.

4. Kulikova A. A., Ovchinnikova T. I. A regional criterion for classifying mining regions as territories with the greatest exposure to geocological changes. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 1, pp. 27–34. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-27-34.

5. Dzhioeva A. K. Prospects for mining ecologization to reduce harmful emissions into the atmosphere. *Ugol'*. 2022, no. 10, pp. 29–32. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-29-32.

6. Badalyan L. Kh., Kurdyukov V. N., Ovcharenko A. M., Kucherenko S. V. Method for determining the maximum allowable load on the ecosystems. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 3, pp. 430–439. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-430-439.

7. Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Environmental risk management at mining enterprises. *Ugol'*. 2022, no. 3, pp. 76–80. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-3-76-80.

8. Ulanov V. L., Skorobogatko O. N. Impact of EU carbon border adjustment mechanism on the economic efficiency of Russian oil refining. *Journal of Mining Institute*. 2022, vol. 257, pp. 865–876. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2022.83.

9. Yan P., Ma Zh., Li H., Gong P., Xu M., Chen T. Laboratory tests, field application and carbon footprint assessment of cement-stabilized pure coal solid wastes as pavement base materials. *Construction and Building Materials*. 2023, vol. 366, article 130265. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.130265.

10. Norouzi M., Haddad A. N., Jiménez L., Hoseinzadeh S., Boer D. Carbon footprint of low-energy buildings in the United Kingdom: Effects of mitigating technological pathways and decarbonization strategies. *Science of The Total Environment*. 2023, vol. 882, article 163490. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163490.

11. Silaev V. I., Gavrina O. A., Kuzina A. V. The problem of renewable energy sources and market mechanisms in various energy systems in the era of global crises. *2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*. Magnitogorsk, 2023, pp. 83–88. DOI: 10.1109/UralCon59258.2023.10291161.

12. Klyuev R. V., Morgoev I. D., Morgoeva A. D., Gavrina O. A., Martyushev N. V., Efremkov E. A., Mengxu Q. Methods of forecasting electric energy consumption: A literature review. *Energies*. 2022, vol. 15, article 8919. DOI: 10.3390/en15238919.

13. Zinovieva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M., Smirnova N. A. On the issue of assessing the ecological condition of the environment to achieve sustainable development of coal-mining regions of Russia. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 1, pp. 35 – 43. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-35-43.

14. Jin H. Analyzing factors and resource policymaking options for sustainable resource management and carbon neutrality in mining industry: Empirical study in China. *Resources Policy*. 2023, vol. 86, part B, article 104185.

15. Semyachkov A. I., Pochechun V. A. Estimation methodology of mining industrial complexes impact on environment. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 2, pp. 215 – 223. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-215-223.

16. Krupskaya L., Kulikova E., Filatova M., Leonenko A. A mathematical model for assessing the impact of a man-made system on an air basin. *Ecology and Industry of Russia*. 2023, no. 27(8), pp. 50 – 57. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-8-50-57.

17. Siming Yu, Xun Wang, Jiaming Liu, Fang Wei. Role of mining waste trade on green development in China: Policy implications for circular economy. *Resources Policy*. 2023, vol. 86, part A, article 104147.

18. Kopylov A. S., Dzhioeva A. K., Kondratyev Yu. I. An integrated approach to the development of the raw material base of the mining region with the use of resource-reproducing technologies. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 2, pp. 228 – 239. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-228-239.

19. Malyukova L. S., Martyushev N. V., Tynchenko V. V., Kondratiev V. V., Bukhtoyarov V. V., Konyukhov V. Y., Bashmur K. A., Panfilova T. A., Brigida V. Circular mining wastes management for sustainable production of camellia sinensis (L.) O. Kuntze. *Sustainability*. 2023, vol. 15, no. 15, article 11671. DOI: 10.3390/su151511671.

20. Klyuev R., Tekiev M., Silaev V., Bosikov I., Gavrina O. Sustainable operation analysis of the mining industry power supply system. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 326, no. 6, article 00016. DOI: 10.1051/e3sconf/202132600016.

21. Han Sun, Xueyuan Hu, Xiaohui Yang, Hai Wang, Jinhua Cheng. Estimating water pollution and economic cost embodied in the mining industry: An interprovincial analysis in China. *Resources Policy*. 2023, vol. 86, part B, article 104284.

22. Rodríguez J. E., Razo I., Lázaro I. Water footprint for mining process. A proposed method to improve water management in mining operations. *Cleaner and Responsible Consumption*. 2023, vol. 8, article 100094. DOI: 10.1016/j.clrc.2022.100094.

23. Barantsov I. A., Pnev A. B., Koshelev K. I., Tynchenko V. S., Nelyub V. A., Borodulin A. S. Classification of acoustic influences registered with phase-sensitive otdr using pattern recognition methods. *Sensors*. 2023, vol. 23, no. 2, article 582. DOI: 10.3390/s23020582.

24. Kukartsev V., Shutkina E., Moiseeva K., Korpacheva L., Kireev T. Methods and tools for developing an organization development strategy. *2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*. 2022. DOI: 10.1109/IEMTRONICS55184.2022.9795707.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Силаев Вадим Иванович – магистрант,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
e-mail: wadym.silaeff@yandex.ru,
ORCID ID: 0009-0005-0903-683X,

Клюев Роман Владимирович — д-р техн. наук,
доцент, профессор, Московский политехнический
университет, e-mail: kluev-roman@rambler.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3777-7203,

*Еремеев Дмитрий Викторович*¹ — канд. экон. наук,
доцент ВАК, Институт инженерной экономики;
Сибирский федеральный университет,
e-mail: eremeev.dmitriy@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-4691-9798,

*Мартынова Татьяна Алексеевна*¹ — канд. экон. наук,
доцент ВАК, Институт инженерной экономики,
e-mail: tatyana-mart@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-4382-2640,

*Данильченко Юрий Витальевич*¹ — канд. экон. наук,
доцент, зав. кафедрой, e-mail: ya_danko@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0004-1016-6191,

¹ Сибирский государственный университет
науки и технологий им. М.Ф. Решетнёва.

Для контактов: Силаев В.И., e-mail: wadym.silaeff@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.I. Silaev, Master's Degree Student,
North Caucasus Mining and Metallurgical Institute
(State Technological University),

362021, Vladikavkaz, RNO-Alania, Russia,

e-mail: wadym.silaeff@yandex.ru,

ORCID ID: 0009-0005-0903-683X,

R.V. Klyuev, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

Professor, Moscow Polytechnic University,

107023, Moscow, Russia,

e-mail: kluev-roman@rambler.ru,

ORCID ID: 0000-0003-3777-7203,

*D.V. Eremeev*¹, Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor,

Institute of Engineering Economics;

Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk, Russia,

e-mail: eremeev.dmitriy@gmail.com,

ORCID ID: 0000-0002-4691-9798,

*T.A. Martynova*¹, Cand. Sci. (Econ.),

Assistant Professor, e-mail: tatyana-mart@yandex.ru,

Institute of Engineering Economics,

ORCID ID: 0000-0002-4382-2640,

*Yu.V. Danilchenko*¹, Cand. Sci. (Econ.),

Assistant Professor, Head of Chair,

e-mail: ya_danko@mail.ru,

ORCID ID: 0009-0004-1016-6191,

¹ Reshetnev Siberian State University of Science
and Technology, 660037, Krasnoyarsk, Russia.

Corresponding author: V.I. Silaev, e-mail: wadym.silaeff@yandex.ru.

Получена редакцией 25.08.2023; получена после рецензии 22.09.2023; принята к печати 10.10.2023.

Received by the editors 25.08.2023; received after the review 22.09.2023; accepted for printing 10.10.2023.