



ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДОМ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИИ НА ОСНОВЕ ИХ ИНТЕГРАЦИИ

С.М. САЛЬМАНОВ¹, З.М. НАЗАРОВА², Ю.А. ЛЕОНИДОВА^{2,*}

¹ АО «Полиметалл Управляющая Компания»

2, пр-т Народного ополчения, г. Санкт-Петербург 198216, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Добыча и переработка полезных ископаемых является важнейшей отраслью, играющей незаменимую роль в мировой экономике. Она обеспечивает промышленность минеральными ресурсами, стимулирует технологический прогресс и помогает переходу экономики на экологически чистые технологии. По мере того как мир движется к использованию «зеленых» и цифровых технологий в будущем, возрастает значимость удовлетворения меняющегося спроса на минеральное сырье, что одновременно выдвигает новые требования к экологической устойчивости и социальной ответственности предприятий, функционирующих в сфере недропользования. Выполнение этих запросов в горнодобывающей промышленности возможно при внедрении и интеграции передовых энергосберегающих технологий и прорывных цифровых инноваций, результативность которых во многом зависит от эффективности системы управления на предприятиях.

Цель. Совершенствование управления переходом участников системы недропользования на «зеленые» и цифровые технологии, а также исследование факторов, оказывающих влияние на эти процессы.

Материалы и методы исследования: анализ, синтез, сравнение, обобщение, систематизация.

Результаты. Исследованы источники парниковых газов, возникновение которых характерно для добычи полезных ископаемых. Обозначены сущность и цели перехода недропользования на «зеленые» и цифровые технологии с выделением конкретных составляющих и этапов этого процесса. Также отмечена важность цифровых инноваций для внедрения экологически безопасных технологий в горнодобывающей промышленности. Описаны ключевые детерминанты, определяющие переход недропользования на «зеленые» и цифровые технологии. Представлены организационный и институциональный механизмы в управлении данным процессом для гармоничного перехода к экологической устойчивости и цифровым инновациям в системе недропользования. Особый акцент сделан на перспективных ресурсосберегающих технологиях, которые способны поддержать этот переход.

Заключение. В статье предложена концепция интеллектуальной системы управления трансформацией системы недропользования, которая призвана способствовать повышению операционной эффективности, углеродной нейтральности и минимизации неблагоприятного воздействия добычи природных ископаемых на общество и окружающую среду. Проанализирован опыт АО «Полиметалл» в области повышения экологической устойчивости путем применения современных технологий.

Ключевые слова: «зеленые» технологии, цифровизация, недропользование, минералы, выбросы, парниковые газы, эффективность

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

С.М. Сальманов, З.М. Назарова, Ю.А. Леонидова

Особенности управления переходом горнодобывающих предприятий на экологически чистые технологии...

Для цитирования: Сальманов С.М., Назарова З.М., Леонидова Ю.А. Особенности управления переходом горнодобывающих предприятий на экологически чистые технологии и цифровые инновации на основе их интеграции. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(4):120—129. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-4-120-129> EDN: [ТНКРВО](#)

Статья поступила в редакцию 23.05.2025

Принята к публикации 06.06.2025

Опубликована 22.12.2025

* Автор, ответственный за переписку

FEATURES OF MANAGING THE TRANSITION OF MINING ENTERPRISES TO CLEAN TECHNOLOGIES AND DIGITAL INNOVATIONS THROUGH THEIR INTEGRATION

SERGEY M. SALMANOV¹, ZINAIDA M. NAZAROVA², YULIYA A. LEONIDOVA^{2,*}

¹ JSC "Polymetal Management"

2, Narodnogo Opolcheniya ave., Saint-Petersburg 198216, Russia

² Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

ABSTRACT

Background. The extraction and processing of minerals is a vital industry that plays an irreplaceable role in the global economy. It provides industry with mineral resources, stimulates technological progress and facilitate the economy transition to environmentally friendly technologies. As the world moves toward a green and digital future, it becomes increasingly important to meet changing demand for mineral resources, which simultaneously places new demands on the environmental sustainability and social responsibility of enterprises operating in the subsoil management sector. For the mining industry, these demands can be met through the implementation and integration of advanced energy-saving technologies and breakthrough digital innovations with efficiency largely dependent on the effectiveness of the enterprises' management system.

Aim. To improve the management of transition to green and digital technologies for participants of the subsoil management sector; to study the factors affecting these processes.

Materials and methods. The methods of this study include analysis, synthesis, comparison, generalization, and systematization.

Results. The sources of greenhouse gases typical of mining operations are investigated. The essence and objectives of the transition of the subsoil management sector to green and digital technologies are outlined; specific components and stages of this process are highlighted. The importance of digital innovation for the implementation of environmentally friendly technologies in the mining industry is noted. The key determinants of green and digital transition in subsoil management are described. The presented organizational and institutional mechanism for managing this process ensures a harmonious transition to environmental sustainability and digital innovation in the subsoil management system. Particular emphasis is placed on promising resource-saving technologies that can support this transition.

Conclusion. The present article proposes a concept of intelligent management for the green and digital transformation of the subsoil management system, which is designed to promote operational efficiency and carbon neutrality, as well as to minimize the adverse impact of natural resource extraction on society and environment. The practice of the Polymetal JSC (Saint Petersburg, Russian Federation) in improving environmental sustainability through the use of contemporary technologies is analyzed.

Keywords: green technologies, digitalization, subsoil management, minerals, emissions, greenhouse gases, efficiency

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / ECONOMICS OF MINERAL RAW MATERIALS AND GEOLOGICAL EXPLORATION

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: the study had no sponsorship.

For citation: Salmanov S.M., Nazarova Z.M., Leonidova Yu.A. Features of managing the transition of mining enterprises to clean technologies and digital innovations through their integration. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2025;67(4):120—129. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-4-120-129> EDN: ТНКРВО

Manuscript received 23 May 2025

Accepted 06 June 2025

Published 22 December 2025

* Corresponding author

Горнодобывающая промышленность обеспечивает материальный фундамент, на котором строится экономика современного общества. Спрос на энергоресурсы, металлы и минералы с развитием научно-технического прогресса постоянно растет. Если взять, к примеру, средний мобильный телефон весом 110 г, то в нем может содержаться 53 различных металла, для добычи которых требуется от 5 до 139 кг руды (90% которой приходится на золото, платину, палладий и редкоземельные элементы) [10].

В то же время процессы, связанные с добычей природных ресурсов и разработкой недр, оказывают существенное воздействие на изменение климата, выбрасывая в атмосферу парниковые газы (ПГ), такие как CH_4 , оксиды азота (NO_x) и диоксид углерода (CO_2), в результате сжигания топлива, выработки электроэнергии на месте добычи полезных ископаемых и в ходе других производственных процессов. Основными источниками выбросов парниковых газов в ходе добычи полезных ископаемых являются такие технологические процессы, как бурение, взрывные работы, экскаваторные и бульдозерные работы, транспортировка и переработка руды и горной породы.

Геологические и экологические проблемы, возникающие в связи с ростом потребности в минеральных ресурсах, становятся сегодня все более очевидными, большинство из них имеют весьма серьезные последствия. Так, помимо выбросов ПГ в процессе добычи и переработки руды образуется большое количество твердых отходов, включая углеродистые, илистые и песчаные материалы [2]. Общее количество отходов увеличивается с ростом объемов добычи и снижением качества руды разрабатываемых месторождений.

На фоне возрастающего негативного влияния на биосферу ключевые участники горнодобывающей отрасли признали необходимость обеспече-

ния контроля и повышения уровня экологической устойчивости минерально-сырьевого сектора. Необходимым элементом для перехода на качественно новый уровень развития защиты окружающей среды для горнодобывающих предприятий является цифровая трансформация, революционизирующая сбор и обработку большого массива данных.

Таким образом, исследования ключевых тенденций и принципов развития «зеленого» недропользования при поддержке цифровых технологий приобретают особую актуальность, что и предопределило выбор темы данной статьи.

Над вопросами обоснования и выбора наилучших практик управления процессом разработки недр и добычи полезных ископаемых, которые имеют решающее значение для устойчивого развития экономики и общества в целом, а также самой отрасли, трудятся ученые В.Г. Крылов, Ю.В. Лебедев, Н.В. Пашкевич, Б.В. Французов, Wenhan Zhu, Laetitia M. Navarro и др.

Потенциальные проблемы, связанные, с одной стороны, с необходимостью увеличения добычи полезных ископаемых, что обусловлено растущим спросом на критически важные минералы, а с другой — с важнейшими экологическими и социальными последствиями их добычи, нашли свое выражение в публикациях исследователей С.Н. Бобылева, А.В. Шевчука, Zanxu Chen, Tristan Campbell и др.

Ключевые технологии, инновации и цифровые новинки, которые помогают преобразовать горнодобывающие операции, снизив их негативное воздействие на окружающую среду, описывают Е.В. Видищева, Н.А. Савельева, Y. Zhu, Y. Surface и др.

Рассматриваемая проблема привлекает внимание исследователей из разных областей научного познания, но в то же время ее обширность и появление новых аспектов требуют дальнейшей

проработки дискуссионных вопросов. В более детальном анализе нуждается сам процесс недропользования с целью выявления экологических и социальных горячих точек, которые могут иметь как положительное, так и отрицательное влияние на эти факторы функционирования горнодобывающей промышленности. Отдельного обоснования требует экономическая оценка внедрения автономных/беспилотных технологий, удаленных операционных центров и аналитики данных для обеспечения устойчивого развития рудников.

Таким образом, цель статьи заключается в проведении анализа особенностей управления переходом горнодобывающих предприятий на экологически безопасные и цифровые технологии, а также факторов, оказывающих влияние на эти процессы.

Результаты

«Зеленый» переход недропользования — это концепция, предполагающая развитие и внедрение экологически безопасных методов добычи полезных ископаемых [8]. Из этого следует, что «зеленый» вектор работы горнодобывающей промышленности предусматривает необходимость реализации стратегий, нацеленных на эффективное использование материалов и энергии. Этот принцип фактически претворяется в жизнь путем экономии энергоресурсов, водных ресурсов, территорий в ходе осуществления всех процессов, связанных с недропользованием. Не подлежит сомнению тот факт, что отмеченные задачи не могут быть решены без поддержки цифровых технологий и передовых управляемых решений.

Цель перехода на безопасные экологические и цифровые технологии — минимизировать ущерб, наносимый работой горнодобывающих предприятий и отходами, которые образуются после их деятельности, а также обеспечить экологически основанную рекультивацию рудников [6]. Это инновационный технический подход к реабилитации отработанных и прилегающих территорий, который предполагает помочь в восстановлении топографии, геоморфологии, почвы, растительности и экосистем, поврежденных в процессе добычи и утилизации отходов.

Переход на «зеленые» и цифровые технологии в недропользовании предусматривает следующее.

Во-первых, использование новейших экологически чистых технологий.

Во-вторых, применение современных цифровых технологий, в том числе на базе искусственного интеллекта, для обработки большого массива

экологических данных и помощи в принятии управляемых решений.

В-третьих, вовлечение всех участников рынка, находящихся на прилегающих территориях, с целью обеспечения их экономической выгоды, а также повышения уровня благосостояния и здоровья местного населения.

В-четвертых, усиление контроля за производством и цепочками создания стоимости продукции, соответствующими действующим нормам выбросов и энергоэффективности.

Важность и значимость цифровых технологий для обеспечения и развития экологически безопасных технологий в горнодобывающей отрасли состоит в следующем.

Повышение прозрачности и точности данных. Цифровые решения играют ключевую роль в улучшении прозрачности горнодобывающей деятельности, сокращая количество недостоверных данных о воздействии предприятий и разработок на окружающую среду. Они обеспечивают этичность ведения бизнеса, позволяя осуществлять точный мониторинг социального и экологического воздействия, оптимизируя учет, контроль и раскрытие информации в области устойчивого развития [11].

Укрепление доверия и сотрудничества с заинтересованными сторонами. Демонстрация инициатив в области устойчивого развития на цифровых платформах создает инвестиционные возможности и консолидирует вовлеченность заинтересованных сторон, включая инвесторов и регулирующие органы. Это участие приводит к появлению новых возможностей развития горнодобывающих предприятий, повышению их эффективности деятельности и снижению операционных рисков.

Рост корпоративной эффективности: цифровые решения, централизующие данные, упрощают процессы отчетности и принятия решений, что в конечном счете повышает корпоративную эффективность [14].

В таблице 1 приведены факторы, влияющие на развитие «зеленых» и цифровых технологий в горнодобывающей отрасли.

Нет сомнений, что переход недропользования к данным технологиям предполагает комплекс мер в самых разнообразных сферах, охватить которые в рамках данного исследования не представляется возможным. Поэтому остановимся на двух аспектах.

Во-первых, создание организационно-экономического механизма, обеспечивающего модернизацию управления и регулирования системы недропользования на пути к устойчивому переходу.

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / ECONOMICS OF MINERAL RAW MATERIALS AND GEOLOGICAL EXPLORATION

Таблица 1. Факторы, определяющие переход к экологически чистому и цифровому недропользованию
Table 1. Factors determining the transition to environmentally friendly and digital subsurface use

Сфера	Необходимые компоненты
Местное сообщество	Создание возможностей для трудоустройства, содействие устойчивому жизнеобеспечению, повышение осведомленности, гражданское участие, публичная отчетность, привлечение организаций гражданского общества
Экономика	Переход к цифровой экономике, региональная экономическая мобильность, развитие сельской экономики, предотвращение монопольной ренты, экономическая прозрачность, сегментированная перспектива, упорядоченные процессы (единое окно), инвестиционные перспективы, выдача разрешений с учетом потребностей местного развития
Образование и культурное развитие	«Зеленая» философия образования, развитие исследовательских и инновационных центров по вопросам цифрового перехода систем недропользования, прозрачность деятельности, квалифицированные специалисты, семинары по горному делу, академическое планирование, единство и понимание, переоценка ценностей общества
Законы и разработка «зеленой» политики	Ясность в законах, обширное экологическое законодательство, разработка политики в соответствии с цифровым прогрессом и возможностями новых технологий, реалистичные стратегии реализации нормативных актов
Международная деятельность	Необходимость соблюдения международных стандартов, активное участие в глобальных разработках, динамика мирового рынка энергетических ресурсов и минералов
Техническая	Интеграция новейших технологий

Составлено авторами по материалам источников [1, 12, 16]

Во-вторых, внедрение технологий, позволяющих снизить затраты энергии, потребляемой горнодобывающими производствами, сократить выбросы вредных веществ и отходов, а также обеспечить высокие стандарты безопасности, динамическое планирование и обновление данных в режиме реального времени.

Создание организационно-экономического механизма включает в себя:

1. Разработку политики и стратегии в отношении недропользования, основанного на экологически безопасных ресурсосберегающих технологиях. Они должны быть направлены на решение нескольких взаимосвязанных приоритетных задач: создание четкой стимулирующей программы для привлечения инвестиций в экологически чистые технологии и цифровые разработки для горнодобывающей промышленности, обеспечение четкого разграничения институциональной ответственности в системе недропользования, создание сбалансированного фискального режима для добычи и переработки полезных ископаемых, принятие экологических и социальных гарантий в соответствии с передовой международной практикой, а также внедрение важнейших стандартов корпоративной прозрачности и кодекса управления горнодобывающими предприятиями [5].

2. Подготовку нормативно-правовой базы для системы недропользования, которая будет функционировать с учетом новой экологически

ориентированной повестки дня. Для того чтобы обновленная политика была реализована, следует принять новые или доработать действующие законы, позволяющие обеспечить прочную правовую основу для реализации утвержденных мер экологической устойчивости и цифровизации. На их базе необходимо создать кодекс недропользования, в котором должны найти отражение такие ключевые вопросы, как предоставление и лицензирование прав на добычу полезных ископаемых; фискальные/налоговые положения; кадастровое управление; охрана окружающей среды; доступ и использование земли; труд и безопасность; социальные и культурные гарантии.

3. Наращивание кадрового потенциала, обучение и поддержка сотрудников в отрасли для практической реализации запланированных программ и политик.

4. Оптимизацию процессов управление геоданными. Современные системы и методики сбора, хранения, обработки и распространения геонаучных документов, карт и данных (в идеале в цифровой онлайн-форме) являются одним из важнейших инструментов, позволяющих ускорить приток инвестиций в горнодобывающий сектор и способствовать внедрению передовых энергосберегающих технологий [7, 13].

5. Фискальный режим и управление доходами. Справедливый и предсказуемый режим налогообложения горнодобывающей промышленности

Особенности управления переходом горнодобывающих предприятий на экологически чистые технологии...

имеет решающее значение для повышения конкурентоспособности рынка, привлечения законных и ответственных инвестиций и улучшения перспектив развития и экономического роста сектора.

Внедрение ресурсосберегающих технологий

Горнодобывающая промышленность является одним из крупнейших потребителей энергетических, водных, территориальных ресурсов. Согласно данным ежегодного доклада Министерства природных ресурсов РФ «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году», горнодобывающая отрасль занимает лидирующие позиции по вредному воздействию на биосферу в промышленности. Так, на нее приходится 39% выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, 8% забора воды из природных водных объектов и 93,4% от общего объема отходов производства [4].

Поэтому одним из перспективных вариантов перехода недропользования на «зеленый» курс развития является расширение использования передового оборудования и технологий, обес-

печивающих снижение выбросов, увеличение эффективности использования ресурсов и повышение безопасности труда [9]. В таблице 2 представлены примеры некоторых передовых технологий, способных поддержать «зеленый» переход недропользования.

На рисунке 1 представлена концептуальная схема управления переходом недропользования к экологически чистым технологиям, цифровому менеджменту и контролю с учетом современных достижений науки и техники. Концептуальная схема разработана на базе модели «планировать — делать — проверять — действовать» (PDCA).

Представленная на рисунке 1 система ориентирована на безопасный и устойчивый жизненный цикл недропользования начиная с добычи полезных ископаемых и до их поступления продукции потребителю с целью соблюдения баланса в экосистеме, а также на управление, поддерживаемое передовыми цифровыми технологиями и соответствующее нормам и правилам охраны окружающей среды и социальной ответственности.

Таблица 2. Некоторые виды горного оборудования и технологии, способствующие «зеленому» переходу недропользования

Table 2. Some types of mining equipment and technologies contributing to the “green” transition of subsurface use

Технологии	Описание
Электрификация	Переход с дизельного оборудования на электрическое или гибридное — важный шаг на пути к устойчивому недропользованию. Электромобили потребляют возобновляемые источники энергии, что исключает выбросы и снижает зависимость от ископаемого топлива
Автоматизация и дистанционное управление	Автоматизированное горное оборудование может работать с большей эффективностью и точностью, снижая необходимость вмешательства человека. Системы дистанционного управления позволяют операторам удаленно управлять техникой, что сводит к минимуму необходимость присутствия персонала в опасных условиях
Цифровизация и аналитика данных	Цифровые горнодобывающие операции позволяют в режиме реального времени получать данные о производительности оборудования, потреблении ресурсов и воздействии на окружающую среду. Аналитика данных открывает возможности для выявления потенциала оптимизации, повышения эффективности использования ресурсов и сокращения выбросов
Водородные технологии	Водородные топливные элементы являются перспективной альтернативой дизельным двигателям, обеспечивая чистую и эффективную энергию для горнодобывающего оборудования
Регенеративные технологии	Регенеративные технологии, такие как гидроциклоны и гидрометаллургические процессы, позволяют извлекать ценные минералы из потоков отходов, сокращая их объем и повышая эффективность использования ресурсов
Технологии биодеградации	Технологии биодеградации дают возможность разлагать отходы горнодобывающей промышленности на менее вредные вещества, уменьшая воздействие на окружающую среду и восстанавливая ресурсы
Новые технологии бурения	Технологии бурения, разработанные для повышения энергоэффективности, снижают потребность в электроэнергии, что приводит к снижению энергопотребления и уменьшению воздействия на окружающую среду

Составлено авторами по материалам источников [15, 17]

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / ECONOMICS OF MINERAL RAW MATERIALS AND GEOLOGICAL EXPLORATION



Рис. 1. Концепция трансформации интеллектуальной системы управления с использованием «зеленых» и цифровых технологий на процессы недропользования с позиций основных ее составляющих

Fig. 1. The concept of transformation of an intelligent management system using “green” and digital technologies to the processes of subsurface use from the perspective of its main components

Золотодобывающая компания «АО «Полиметалл» (далее — Компания), являющаяся одним из лидеров горнодобывающей отрасли России, уделяет большое внимание внедрению безопасных экологических технологий.

В области экологической устойчивости компания руководствуется следующими принципами:

- предпочтение превентивным мерам перед компенсационными. На всех предприятиях компании выстроена система экологического менеджмента, которая посредством непрерывного мониторинга позволяет своевременно выявлять экологические риски;
- снижение экологических последствий деятельности на каждом этапе жизненного цикла разработки месторождений;
- применение современных цифровых технологий и оборудования для мониторинга экологических рисков и снижения загрязнений биосфера в процессе деятельности компании;
- повышение вовлеченности и компетентности сотрудников компании в вопросах окружающей среды;
- непрерывный диалог с местными сообществами и заинтересованными сторонами в районах расположения месторождений компании.

Компания заботится о сохранении экосистем для будущих поколений, делая все возможное для минимизации воздействия на окружающую среду. В частности, по направлениям:

Снижение углеродного следа и энергоэффективность. Планомерное внедрение новейших технологий позволило сократить уровень энергетических выбросов в 2024 г. на 6% по сравнению с прошлогодними показателями. Доля электроэнергии, полученной от возобновляемых источников энергии, составила 5%. На предприятиях используется технология рекуперации для улавливания отработанного тепла дизельных генераторов и его применения в системах отопления. Более 20% потребления тепловой энергии покрываются за счет систем утилизации тепла. В 2024 г. завершены проекты по строительству ЛЭП до месторождений Албазино и Лунное. Проводится оптимизация схем проветривания подземных рудников с целью снижения потребления электроэнергии главными вентиляторными установками.

Управление водными ресурсами. Предприятия компаний минимизируют водопотребление за счет внедрения инновационных технологий замкнутого цикла и использования очищенных вод для технологических нужд. Более 95% водных ресурсов

Особенности управления переходом горнодобывающих предприятий на экологически чистые технологии...

проходит повторную обработку и возвращается в производственный цикл. Для предотвращения риска сброса неочищенных вод в водную среду устанавливаются датчики и регулярно проверяется целостность гидроизоляционного слоя в основании хвостохранилищ, прудах-отстойниках и других гидротехнических сооружениях.

Обращение с отходами. В процессе добычи и переработки полезных ископаемых более 99% образующихся отходов составляют минеральные остатки, вскрышные породы и хвосты обогащения. Компания эффективно управляет ими, применяя их для обратной закладки горных выработок, строительства и ремонта инфраструктуры. В 2024 г. на месторождении Майское реализован проект по строительству бетонно-закладочного комплекса для производства пастовой закладки. Он позволит использовать хвосты обогащения в качестве закладочного материала в подземном руднике. В 2024 г. компания повысила долю сухого складирования отходов обогащения до 58%. Сухой способ складирования существенно снижает водопотребление и риск загрязнения грунтовых вод. Отработанная вода после осушения хвостов возвращается в производственный цикл. Неминеральные отходы производства, такие как бумага, пластик, металл, проходят раздельный сбор перед утилизацией.

Возмещение биологических ресурсов. В 2024 г. компания вложила более 5 млрд руб. в природоохранную деятельность и программы восстановления биологических ресурсов. За год прокультивировано 109 га земель, осуществлена посадка 575 тыс. саженцев на 288 га земли, выпущено свыше 1 млн мальков в близлежащие природные водоемы [3].

Заключение

Недропользование в условиях перехода к экологически безопасному и цифровому недропользованию предполагает реализацию согласованного комплекса действий со стороны многочисленных заинтересованных сторон, что позволит повысить прозрачность всей цепочки создания стоимости продукции, оптимизировать производственные затраты, обеспечить более безопасные и здоровые условия труда, а также сократить углеродный след. Для достижения этой цели в работе предложена концепция трансформации интеллектуальной системы управления с использованием «зеленых» и цифровых технологий в недропользовании, которая призвана способствовать повышению операционной эффективности, углеродной нейтральности и минимизации неблагоприятного воздействия на общество и окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видищева Е.В., Савельева Н.А. Тенденции цифровой трансформации в недропользовании. Естественно-гуманитарные исследования. 2024. № 2(52). С. 79—83.
2. Глазырина И.П., Калгина И.С. Использование современных информационных систем для повышения качества государственного управления в сфере недропользования. Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29. № 2. С. 112—120.
3. Годовой отчет АО «Полиметалл за 2024 год». URL: <https://www.polymetal.ru/sustainability/environment>
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii (дата обращения: 25.04.2025).
5. Лебедев Ю.В., Крылов В.Г. Системный анализ сферы недропользования. Вестник СГУГИТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2022. Т. 27. № 4. С. 160—168.
6. Рыженков А.Я. Правовое регулирование использования и охраны недр в прикаспийских регионах в контексте задач зеленой экономики. Правовая
- парадигма. 2024. Т. 23. № 1. С. 82—91.
7. Сайдикосимов С.С., Низамова А.Т., Хакбердиев М.Р. Информационные технологии геомеханического обеспечения безопасного недропользования. Gorniy Vestnik Uzbekistana. 2022. № 2 (89). С. 106—110.
8. Французов Б.В. Экологические ограничения как инструмент механизма экологической безопасности природопользования. Известия Уральского государственного горного университета. 2024. № 4(76). С. 129—137.
9. Ranjan A.R., Dash J. A New Approach for Prediction of Foliar Dust in a Coal Mining Region and Its Impacts on Vegetation Physiological Processes Using Multi-Source Satellite Data Sets. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2024. Vol. 129. Iss. 10. P. 45—52.
10. Chenxu Wang, Yanxiu Liu. Coordinative enhancement of ecological security and the aesthetic viewing service in the ecological restoration of mining landscapes. Land Degradation & Development. 2023. Vol. 34. Iss. 13. P. 77—83.
11. Hao Tan, Xuexiang Yu. Deformation Monitoring and Spatiotemporal Evolution of Mining Area with Unmanned Aerial Vehicle and D-InSAR Technology.

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / ECONOMICS OF MINERAL RAW MATERIALS AND GEOLOGICAL EXPLORATION

- Mobile Information Systems. 2022. Vol. 4. Iss. 19. P. 14—19.
12. zu Ermgassen S., Navarro L.M. Mining threats in high-level biodiversity conservation policies. *Conservation Biology*. 2024. Vol. 38. Iss. 4. P. 19—23.
13. Campbell T., Kingsley W. Dixon Standards-based evaluation inform ecological restoration outcomes for a major mining activity in a global biodiversity hotspot. *Restoration Ecology*. 2024. Vol. 32. Iss. 8. P. 29—35.
14. Wenhan Zhu, Deyi Kong. Enhancing Environmental Sustainability in the Mining Industry: Circular Economy Strategies for Resource Management and Digital Integration. *Land Degradation & Development*. 2025. No. 98. P. 100—104.
15. Yuanhao Zhu, Yanjun Zhang. Surface Movement and Deformation Law Caused by Different Coal Pillar Stagger Distances in Strip Filling IoT-Enabled Sustainable Mining. *Mobile Information Systems*. 2022. Vol. 4. Iss. 19. P. 56—62.
16. Zanxu Chen, Huping Hou. Using unmanned aerial vehicle multispectral data for monitoring the outcomes of ecological restoration in mining areas. *Land Degradation & Development*. 2023. Vol. 35, Iss. 4. P. 176—184.
17. Zhang Qiang, Kang Yang. Monitoring and measurement analysis of key indexes for the implementation of mining, dressing, backfilling, and controlling technology in coal resources—A case study of Tangshan Mine. *Energy Science & Engineering*. 2022. Vol. 10. Iss. 3. P. 20—29.

REFERENCES

1. Vidishcheva E.V., Savelyeva N.A. Trends in Digital Transformation in Subsoil Use // *Natural Sciences and Humanities Research*. 2024. No. 2(52). P. 79—83 (In Russ.).
2. Glazyrina I.P., Kalgina I.S. Using Modern Information Systems to Improve the Quality of Public Administration in the Sphere of Subsoil Use. *Bulletin of the Transbaikal State University*. 2023. Vol. 29. No. 2. P. 112—120 (In Russ.).
3. Polymetal JSC Annual Report for 2024 URL: <https://www.polymetal.ru/sustainability/environment> (In Russ.).
4. State Report “On the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2023. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_obiokhrane_okruzhayushchey_sredy Rossiyskoy_federatsii (accessed: 25.04.2025) (In Russ.).
5. Lebedev Yu.V., Krylov V.G. Systems Analysis of the Subsoil Use Sphere. *Bulletin of SSUGiT* (Siberian State University of Geosystems and Technologies). 2022. Vol. 27. No. 4. P. 160—168 (In Russ.).
6. Ryzhenkov A.Ya. Legal regulation of subsoil use and protection in the Caspian regions in the context of green economy objectives. *Legal paradigm*. 2024. Vol. 23. No. 1. P. 82—91 (In Russ.).
7. Saidkosimov S.S., Nizamova A.T., Khakberdiev M.R. Information technologies for geomechanical support of safe subsoil use. *Gorniy Vestnik Uzbekistana*. 2022. No. 2(89) (In Russ.).
8. Frantsuzov B.V. Environmental restrictions as a tool of the mechanism of environmental safety of nature management. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2024. No. 4(76). P. 129—137 (In Russ.).
9. Ranjan A.R., Dash J. A New Approach for Prediction of Foliar Dust in a Coal Mining Region and Its Impacts on Vegetation Physiological Processes Using Multi-Source Satellite Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2024. Vol. 129. Iss. 10. P. 45—52.
10. Chenxu Wang, Yanxu Liu. Coordinative enhancement of ecological security and the aesthetic viewing service in the ecological restoration of mining landscapes. *Land Degradation & Development*. 2023. Vol. 34. Iss. 13. P. 77—83.
11. Hao Tan, Xuexiang Yu. Deformation Monitoring and Spatiotemporal Evolution of Mining Area with Unmanned Aerial Vehicle and D-InSAR Technology. *Mobile Information Systems*. 2022. Vol. 4. Iss. 19. P. 14—19.
12. zu Ermgassen S., Navarro L.M. Mining threats in high-level biodiversity conservation policies. *Conservation Biology*. 2024. Vol. 38. Iss. 4. P. 19—23.
13. Campbell T., Kingsley W. Dixon Standards-based evaluation inform ecological restoration outcomes for a major mining activity in a global biodiversity hotspot. *Restoration Ecology*. 2024. Vol. 32. Iss. 8. P. 29—35.
14. Wenhan Zhu, Deyi Kong. Enhancing Environmental Sustainability in the Mining Industry: Circular Economy Strategies for Resource Management and Digital Integration. *Land Degradation & Development*. 2025. No. 98. P. 100—104.
15. Yuanhao Zhu, Yanjun Zhang. Surface Movement and Deformation Law Caused by Different Coal Pillar Stagger Distances in Strip Filling IoT-Enabled Sustainable Mining. *Mobile Information Systems*. 2022. Vol. 4. Iss. 19. P. 56—62.
16. Zanxu Chen, Huping Hou. Using unmanned aerial vehicle multispectral data for monitoring the outcomes of ecological restoration in mining areas. *Land Degradation & Development*. 2023. Vol. 35, Iss. 4. P. 176—184.
17. Zhang Qiang, Kang Yang. Monitoring and measurement analysis of key indexes for the implementation of mining, dressing, backfilling, and controlling technology in coal resources—A case study of Tangshan Mine. *Energy Science & Engineering*. 2022. Vol. 10. Iss. 3. P. 20—29.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Сальманов С.М. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Назарова З.М. — подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Леонидова Ю.А. — подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergei S. Salmanov — developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Zinaida M. Nazarova — prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Yuliya A. Leonidova — prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сальманов Сергей Миншакирович — кандидат экономических наук, директор дирекции бюджетирования, аналитического контроля и отчетности АО «Полиметалл УК».
2, пр-т Народного ополчения, г. Санкт-Петербург 198216, Россия
e-mail: Salmanov@polymetal.ru
SPIN-код: 5268-9080

Sergey M. Salmanov — Cand. Sci. (Econ.), Director of the Directorate of Budgeting, Analytical Control and Reporting of JSC Polymetal management.
2, Narodnogo Opolcheniya ave., Saint-Petersburg 198216, Russia
e-mail: Salmanov@polymetal.ru
SPIN-code: 5268-9080

Назарова Зинаида Михайловна — доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой производственного и финансового менеджмента ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: nazarovazm@mgri.ru
тел.: + 7 (495) 255-15-10 (доб. 2142)
SPIN-код: 4447-0660

Zinaida M. Nazarova — Dr. Sci. (Econ.), Prof., Head of the Department of Production and Financial Management of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: nazarovazm@mgri.ru
tel.: + 7 (495) 255-15-10 (ext. 2142)
SPIN-code: 4447-0660

Леонидова Юлия Анатольевна — кандидат экономических наук, доцент кафедры производственного и финансового менеджмента ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: leonidovaya@mgri.ru
тел.: + 7 (495) 255-15-10 (доб. 2078)
SPIN-код: 9869-6281

Yuliya A. Leonidova — Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. of the Department of Production and Financial Management of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: leonidovaya@mgri.ru
tel.: + 7 (495) 255-15-10 (ext. 2078)
SPIN-code: 9869-6281

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author