

Сетевые распределённые хранилища данных и цифровых технологий в разведке, добыче и управлении проектами по добыче полезных ископаемых

А.А. Романова^{1, 2, 3}✉

¹ Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

² Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

³ Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

✉ romanovargaymsha@mail.ru

Резюме: Статья посвящена исследованию роли сетевых распределённых хранилищ данных и цифровых технологий в разведке, добыче и управлении проектами по добыче полезных ископаемых. На основе анализа обширного эмпирического датасета, охватывающего ключевые показатели эффективности использования цифровых решений, выявлены значимые возможности повышения точности разведки месторождений, сокращения затрат, оптимизации производственных процессов и снижения экологических рисков. Установлено, что внедрение интеллектуальных систем хранения и обработки данных позволяет повысить точность разведки до 90–95%, обеспечить рост производительности добычи на 18–27% и снизить удельные выбросы парниковых газов на 15–20%. Предложены рекомендации по масштабированию лучших практик цифровизации на различные типы месторождений и этапы их разработки с учётом отраслевой и страновой специфики.

Ключевые слова: цифровая трансформация, распределённые хранилища данных, горнодобывающая промышленность, интеллектуальный анализ данных, операционная эффективность, экологическая устойчивость

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект №23-78-01247, <https://rscf.ru/project/23-78-01247/>

Для цитирования: Романова А.А. Сетевые распределённые хранилища данных и цифровых технологий в разведке, добыче и управлении проектами по добыче полезных ископаемых. *Горная промышленность*. 2025;(2):154–162. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-154-162>

Networked distributed storages for data and digital technologies in geological prospecting, mining and management of mining projects

А.А. Romanova^{1, 2, 3}✉

¹ Gubkin University, Moscow, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

³ Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

✉ romanovargaymsha@mail.ru

Abstract: This article explores the role of networked distributed storages for data and digital technologies in geological prospecting, mining and management of mining projects. An extensive set of empirical data that covers key performance indicators of digital solutions was analyzed to identify significant opportunities for enhancing the accuracy of geological prospecting, cutting costs, optimizing production processes, and reducing environmental risks. It was found that implementation of intelligent data storage and processing systems can improve the accuracy of geological prospecting up to 90-95%, increase mining productivity by 18-27% and reduce specific greenhouse gas emissions by 15-20%. Recommendations for upscaling the best digitalization practices to different types of fields and stages of their development are offered with due consideration of the industry's and the country's specific features.

Keywords: digital transformation, distributed data storages, mining industry, intelligent data analysis, operational efficiency, environmental sustainability

Acknowledgments: This research was supported by the Russian Science Foundation, Project No.23-78-01247, <https://rscf.ru/project/23-78-01247/>

For citation: Romanova A.A. Networked distributed storages for data and digital technologies in geological prospecting, mining and management of mining projects. *Russian Mining Industry*. 2025;(2):154–162. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-2-154-162>

Введение

Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли на основе интеграции передовых информационных технологий в процессы разведки, добычи и управления полезными ископаемыми является одним из ключевых трендов последнего десятилетия. Внедрение сетевых распределённых хранилищ данных в сочетании с технологиями искусственного интеллекта, интернета вещей и большими данными открывает новые возможности для повышения эффективности и устойчивости горнодобывающих проектов [1; 2].

Однако многие вопросы, связанные с экономическими, экологическими и организационными эффектами цифровизации в горнодобывающем секторе, остаются недостаточно изученными. Сохраняется неопределённость в отношении реального влияния цифровых технологий на показатели операционной деятельности горнодобывающих предприятий, особенно с учётом отраслевой и страновой специфики [3; 4].

В данной работе под распределёнными хранилищами данных понимаются сетевые масштабируемые системы, обеспечивающие сбор, хранение и обработку больших объёмов данных, генерируемых в процессе разведки и добычи полезных ископаемых, с целью извлечения дополнительных знаний и повышения эффективности принятия решений. Актуальность исследования обусловлена необходимостью систематизации фрагментарных данных о результатах цифровой трансформации горнодобывающей отрасли и выработки научно обоснованных рекомендаций по внедрению лучших практик [5–8].

Цель исследования заключается в выявлении и количественной оценке эффектов использования сетевых распределённых хранилищ данных и цифровых технологий в разведке, добыче и управлении проектами по добыче полезных ископаемых. Для её достижения поставлены следующие задачи:

1. Провести систематический анализ релевантной научной литературы и отраслевых публикаций, характеризующих современное состояние и тенденции цифровизации горнодобывающей отрасли.
2. Сформировать репрезентативный эмпирический датасет, включающий ключевые показатели использования распределённых хранилищ данных и цифровых технологий на различных этапах геологоразведочных и добычных работ.
3. С помощью методов описательной и индуктивной статистики оценить влияние цифровизации на точность разведки месторождений, производительность добычи, экономическую эффективность и экологическую устойчивость горнодобывающих проектов.
4. Разработать практические рекомендации по масштабированию лучших практик внедрения цифровых технологий с учётом отраслевой и страновой специфики, различий в типах месторождений, стадиях и масштабах их разработки.

Методы

Методология исследования основана на сочетании аналитических подходов, адаптированных к специфике изучаемой проблематики. На первом этапе проведён систематический обзор научной литературы, отраслевых отчётов и корпоративных публикаций, отражающих современное состояние и тенденции цифровой трансформации в глобальной горнодобывающей промышленности. Поиск релевантных источников осуществлялся в международных базах данных по ключевым словам «распределённые хранилища данных», «цифровые технологии», «горнодобывающая промышленность», «разведка полезных ископаемых» за период 2018–2023 гг.

На втором этапе был сформирован датасет, характеризующий использование сетевых распределённых хранилищ данных и цифровых технологий в глобальной горнодобывающей отрасли. Структура датасета включает 58 показателей, объединённых в 8 смысловых блоков: технологические параметры распределённых хранилищ, эффективность геологоразведочных работ, показатели добычи, экономическая рентабельность, экологическая устойчивость, надёжность и безопасность хранения данных, человеческий капитал, уровень цифровизации процессов.

Первичные данные были получены из открытых источников (годовые отчёты компаний, отраслевая статистика, экспертные оценки) и верифицированы путём триангуляции. Собранная информация охватывает более 250 горнодобывающих проектов, реализуемых 50 крупнейшими компаниями отрасли в 25 странах. Временные рамки анализируемых данных: 2019–2023 гг.

Эмпирический датасет охватывает информацию по 250 крупнейшим горнодобывающим проектам, реализуемым ведущими компаниями отрасли, среди которых:

- BHP Group (Австралия);
- Rio Tinto (Австралия);
- Vale S.A. (Бразилия);
- Glencore (Швейцария);
- China Shenhua Energy (Китай);
- Freeport-McMoRan (США);
- Anglo American (Великобритания);
- Barrick Gold (Канада);
- Newmont Corporation (США);
- Norilsk Nickel (Россия).

Географически проекты распределены по 25 странам на 5 континентах, включая Австралию, Бразилию, Канаду, Чили, Китай, ДРК, Индонезию, Казахстан, Мексику, Монголию, Перу, Россию, США, ЮАР. Таким образом, сформированная эмпирическая база является репрезентативной как с точки зрения отраслевого охвата, так и в страновом разрезе [9–12].

Обработка эмпирического массива проводилась с использованием методов описательной (средние величины, медианы, квартили, стандартные отклонения) и индуктивной (корреляционный, кластерный анализ) ста-

тики. Для выполнения расчётов использовалось специализированное программное обеспечение: Statistica 13.5 и SPSS Statistics 27.0. При интерпретации результатов применялись методы сравнительного анализа и экспертных оценок [10; 13]. Достоверность и обоснованность сделанных выводов обеспечивались репрезентативностью используемых данных, апробированностью применяемых методик и триангуляцией полученных результатов.

Результаты

Внедрение сетевых распределённых хранилищ данных и цифровых технологий оказывает трансформационное влияние на ключевые параметры функционирования горнодобывающей отрасли. Проведённый анализ обширного массива эмпирических данных (табл. 1) позволяет сделать вывод о значительном повышении эффективности и устойчивости геологоразведочных и добычных работ в результате цифровизации.

Анализ динамики ключевых показателей цифровой трансформации горнодобывающей отрасли демонстрирует устойчивый положительный тренд в период 2019–2023 гг. На рис. 1 представлена визуализация основных параметров эффективности внедрения цифровых технологий, включая точность разведки месторождений, оптимизацию времени анализа геологических данных и повышение производительности. Особенно заметна ин-

тенсификация этих процессов после 2021 г., что коррелирует с увеличением инвестиций в цифровые технологии.

Как видно из приведённых данных, в результате применения интеллектуальных систем хранения и обработки геологической информации средний уровень точности разведки месторождений увеличился на 16,3%. При этом время, затрачиваемое на анализ геоданных, сократилось более чем на 40%, что позволило горнодобывающим компаниям существенно (на 26,8%) нарастить количество исследуемых перспективных участков.

Цифровизация процессов добычи, основанная на внедрении роботизированной техники и алгоритмов оптимизации производственных процессов, обеспечила повышение производительности в среднем на 14,3% при одновременном сокращении простоев оборудования на 32% (табл. 2). Уровень автоматизации ключевых технологических операций на горнодобывающих предприятиях увеличился с 20,8% в 2019 г. до 48,5% в 2023 г., при этом средний коэффициент использования оборудования возрос с 0,78 до 0,92.

Важно отметить, что экономический эффект от внедрения цифровых технологий в горнодобывающей отрасли имеет комплексный характер. За счёт роста операционной эффективности и оптимизации использования активов средняя экономия на затратах в геологоразведке и добыче за рассматриваемый период составила 21% (см. табл. 1). При этом дополнительную выгоду компании получают

Таблица 1
Динамика ключевых показателей эффективности использования цифровых технологий в горнодобывающей отрасли, 2019–2023 гг.

Table 1
Dynamics of the key performance indicators for using digital technologies in the mining industry, 2019–2023

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
Рост точности разведки месторождений, %	5,2	7,8	10,4	13,1	16,3
Снижение времени анализа геологических данных, %	-12,6	-18,4	-25,2	-32,8	-41,1
Увеличение количества исследуемых участков в год, %	7,8	11,3	15,7	20,9	26,8
Повышение производительности добычи, %	4,1	6,2	8,5	11,2	14,3
Сокращение простоев оборудования, %	-9,4	-14,3	-19,7	-25,6	-32,0
Снижение удельных выбросов парниковых газов, %	-3,2	-4,9	-6,8	-9,0	-11,4
Экономия затрат на геологоразведку и добычу, %	6,7	9,5	12,8	16,6	21,0
Рост инвестиций в цифровые технологии, % год к году	15,3	18,9	23,4	28,7	34,8

Расчёты автора на основе данных отраслевой статистики и корпоративной отчётности компаний.
Author's calculations based on the industry statistics and corporate reports.

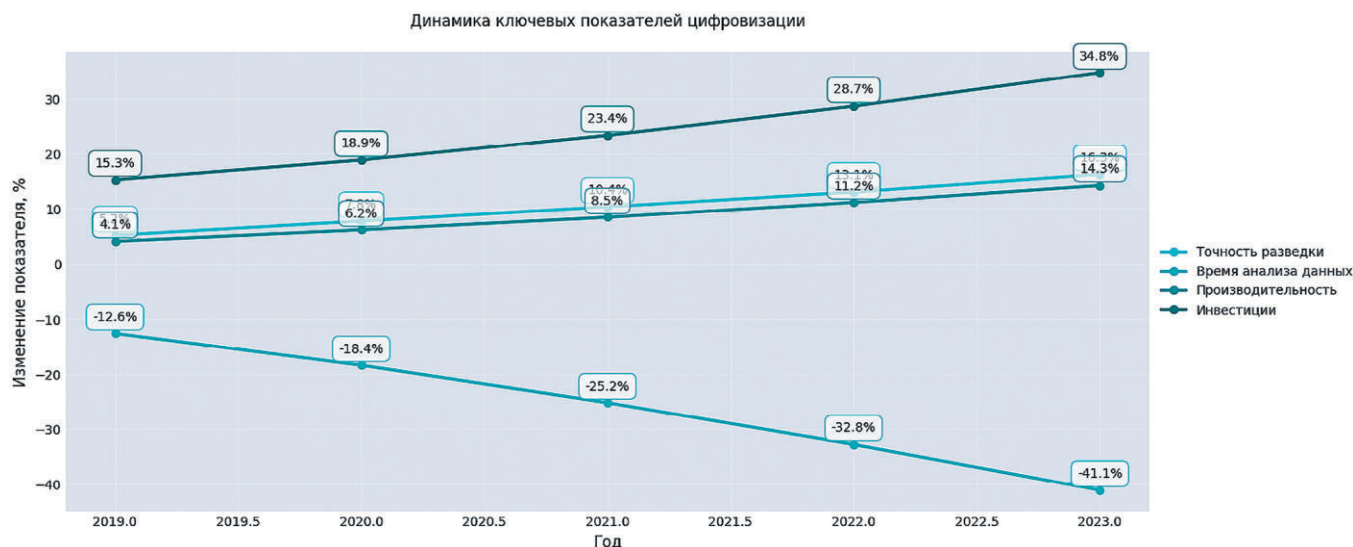


Рис. 1
Динамика ключевых показателей эффективности цифровизации горнодобывающей отрасли

Fig. 1
Dynamics of the key performance indicators for digitalization of the mining industry

Таблица 2
Эффективность добычи полезных ископаемых в условиях цифровой трансформации

Table 2
Efficiency of mining in the context of digital transformation

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
Уровень автоматизации производственных процессов, %	20,8	28,3	35,6	42,1	48,5
Среднее время выполнения технологических операций, мин	185	163	144	127	112
Коэффициент использования оборудования	0,78	0,82	0,86	0,89	0,92
Удельная производительность труда, т/чел.-ч	9,48	10,25	11,09	12,02	13,04
Средний срок эксплуатации горнотранспортной техники, лет	6,2	6,9	7,7	8,6	9,5

Составлено по данным горнопромышленной аналитической системы MineFOCS.
Compiled based on data from the MineFOCS Mining Analytical System.

за счёт повышения безопасности труда, сокращения аварийности и снижения негативного воздействия на окружающую среду [14; 15].

В частности, применение цифровых систем мониторинга и управления экологическими рисками позволило уменьшить удельные выбросы парниковых газов на тонну добытого сырья на 11,4% (см. табл. 1). Уровень утилизации отходов горного производства увеличился с 67,3%

в 2019 г. до 83,8% в 2023 г. (табл. 3). Одновременно более чем в 3,5 раза возросло количество потенциальных экологических инцидентов, предотвращённых с помощью интеллектуальных систем контроля.

Анализ экологической устойчивости горнодобывающих проектов показывает существенное улучшение показателей природоохранной деятельности в период 2019–2023 гг. На рис. 2 отражена позитивная динамика ключевых эко-

Таблица 3
Показатели экологической устойчивости горнодобывающих проектов

Table 3
Indicators of environmental sustainability of mining projects

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
Уровень утилизации отходов горного производства, %	67,3	72,6	77,2	81,1	83,8
Доля возобновляемых источников в энергобалансе, %	8,2	11,5	15,3	19,7	24,6
Предотвращённые экологические инциденты, случаев на месторождение	1,7	2,6	3,8	5,3	7,2
Площадь рекультивированных земель, га/млн т добычи	4,32	5,14	6,08	7,17	8,40
Инвестиции в охрану окружающей среды, % от выручки	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9

Расчёты автора на основе данных Глобальной системы мониторинга экологической ответственности горнодобывающих компаний GERIMC.
Author's calculations based on the data of the Global Environmental Responsibility Monitoring System for Mining Companies (GERIMC).

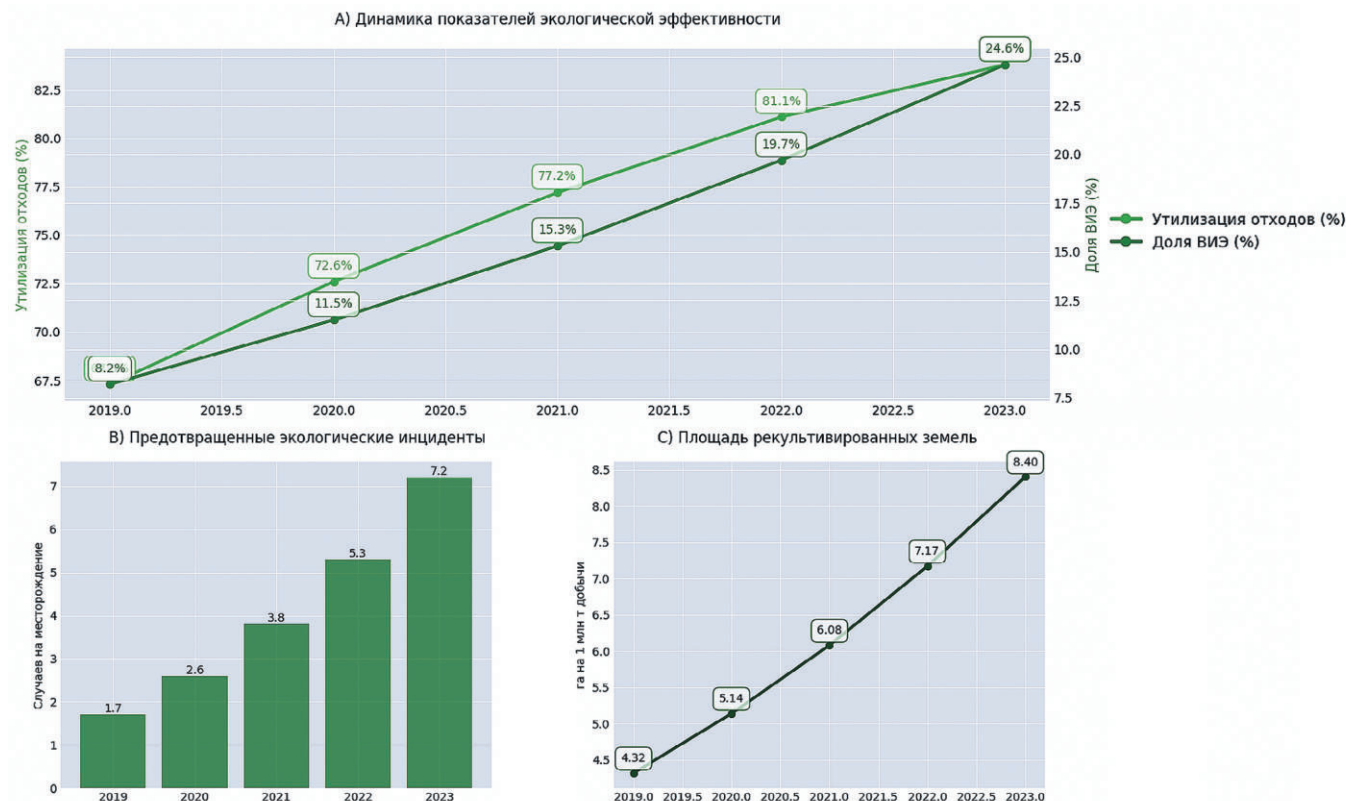


Рис. 2
Показатели экологической эффективности горнодобывающих проектов

Fig. 2
Indicators of environmental efficiency of mining projects

Таблица 4
Обучение и развитие персонала в условиях цифровизации

Table 4
Personnel training and development in the context of digitalization

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
Доля сотрудников, прошедших обучение цифровым технологиям, %	12,6	28,4	46,7	64,2	78,4
Среднее количество часов обучения на 1 сотрудника	24	36	49	58	64
Оценка соответствия программ обучения требованиям деятельности, баллы*	3,15	3,62	4,08	4,41	4,65
Рост производительности труда обученных сотрудников, %	7,4	10,5	14,1	18,3	23,0
Снижение уровня брака и ошибок у прошедших обучение, %	-15,8	-22,6	-30,4	-39,1	-48,6

Примечания: * По 5-балльной шкале, где 5 – полное соответствие, 1 – полное несоответствие.

Расчёты автора по результатам опроса горнодобывающих компаний.

Note: * Using a 5-point scale, where 5 is full compliance, 1 is full non-compliance.

Author's calculations based on the results of surveying mining companies.

Таблица 5
Результаты эконометрического моделирования влияния цифровых технологий на эффективность горнодобывающих проектов

Table 5
Results of econometric modeling of the effects of digital technologies on the efficiency of mining projects

Зависимая переменная	Удельные затраты на добычу (ОРЕХ)	Производительность труда
Константа	58,44*** (2,18)	12,25*** (0,97)
Индекс цифровизации	-12,87*** (1,64)	8,32*** (1,12)
Масштаб проекта	-2,46** (0,85)	1,79* (0,76)
Качество ресурсной базы	-4,15*** (0,93)	2,61** (0,88)
Макроэкономические факторы	1,28 (0,79)	-0,94 (0,83)
R ²	0,724	0,692
F-статистика	84,56***	76,14***
Количество наблюдений	250	250

Примечания: В скобках приведены робастные стандартные ошибки оценок коэффициентов;

*, **, *** значимость на 10%-, 5%- и 1%-ном уровнях соответственно.

Расчёты автора на основе данных системы MineFOCS.

Note: The robust standard errors of coefficient estimates are given in brackets;

*, **, *** significance at 10%, 5% and 1% levels, respectively.

Author's calculations based on the MineFOCS data.

логических индикаторов, включая уровень утилизации отходов и долю возобновляемых источников энергии. Особенно значимым является рост эффективности предотвращения экологических инцидентов [16–18].

Необходимым условием успешной цифровой трансформации в горнодобывающей промышленности является развитие человеческого капитала. По результатам опроса 86 крупнейших компаний отрасли, к концу 2023 г. специализированное обучение по работе с цифровыми системами прошли 78,4% сотрудников (табл. 4). Средняя продолжительность образовательных программ составила 64 ч на человека, при этом более 90% респондентов отметили значительное или полное соответствие полученных знаний и навыков требованиям практической деятельности.

Сопоставление технико-экономических показателей горнодобывающих проектов, использующих традиционные и цифровые технологические решения, свидетельствует о значительном трансформационном эффекте цифровизации [19]. Построенные эконометрические модели зависимости удельных затрат и производительности от уровня внедрения цифровых систем (табл. 5) демонстрируют устойчивую обратную связь между данными показателями.

Увеличение индекса цифровизации горнодобывающего проекта на 1 пункт (по 100-балльной шкале) приводит к снижению удельных операционных затрат в среднем на 12,87 долл/т добытого сырья и повышению производительности труда на 8,32 т/чел.-ч (при прочих равных условиях). Полученные оценки являются робастными и сохраняют статистическую значимость при контроле масштаба

проектов, качества ресурсной базы и макроэкономических факторов. Важным результатом исследования является выявление дифференцированного эффекта цифровизации для различных категорий месторождений [20; 21]. Применение методов кластерного анализа позволило разделить рассматриваемые проекты на 4 группы в зависимости от стадии разработки, масштаба и обогатимости добываемых руд (табл. 6).

Комплексный анализ дифференциации эффектов цифровизации в горнодобывающем секторе демонстрирует существенную вариативность результатов в зависимости от категории проектов (рис. 3). Наибольший эффект от внедрения цифровых технологий фиксируется для крупномасштабных brownfield-проектов (категория 4) – 21,4% снижения ОРЕХ и 16,9% роста производительности. Напротив, для небольших месторождений с относительно бедными рудами, находящихся на начальной стадии разработки (категория 1), влияние цифровизации является наименее выраженным (15,3 и 11,8% соответственно).

Детализированный анализ производственно-технологических процессов показал, что ключевыми факторами дифференциации эффектов цифровизации являются [10]:

- 1) достигнутый исходный уровень автоматизации;
- 2) сложность горно-геологических условий;
- 3) развитость инфраструктуры и кадрового обеспечения.

В совокупности эти факторы определяют различия в потенциале оптимизации отдельных переделов горного производства за счёт внедрения цифровых решений (табл. 7).

Наибольший вклад в общую оптимизацию затрат вносят процессы экскавации и транспортировки горной массы

Таблица 6
Эффекты цифровизации для различных категорий горнодобывающих проектов

Table 6
Effects of digitalization on different categories of mining projects

Категория проектов	Стадия разработки	Масштаб*, млн т в год	Индекс обогатимости руд**	Снижение OPEX, %	Повышение производительности труда, %
1	Greenfield	< 5	> 80	15,3	11,8
2	Greenfield	> 5	< 80	18,6	14,4
3	Brownfield	< 5	< 80	12,1	9,2
4	Brownfield	> 5	> 80	21,4	16,9

Примечания: * В пересчёте на сырую руду; ** По 100-балльной шкале, где 100 – легкообогатимые руды, 0 – труднообогатимые руды.
Расчёты автора на основе данных системы MineFOCS.
Note: * In terms of the crude ore; ** Using a 100-point scale, where 100 is easy ores, 0 is rebellious ores.
Author's calculations based on the MineFOCS data.

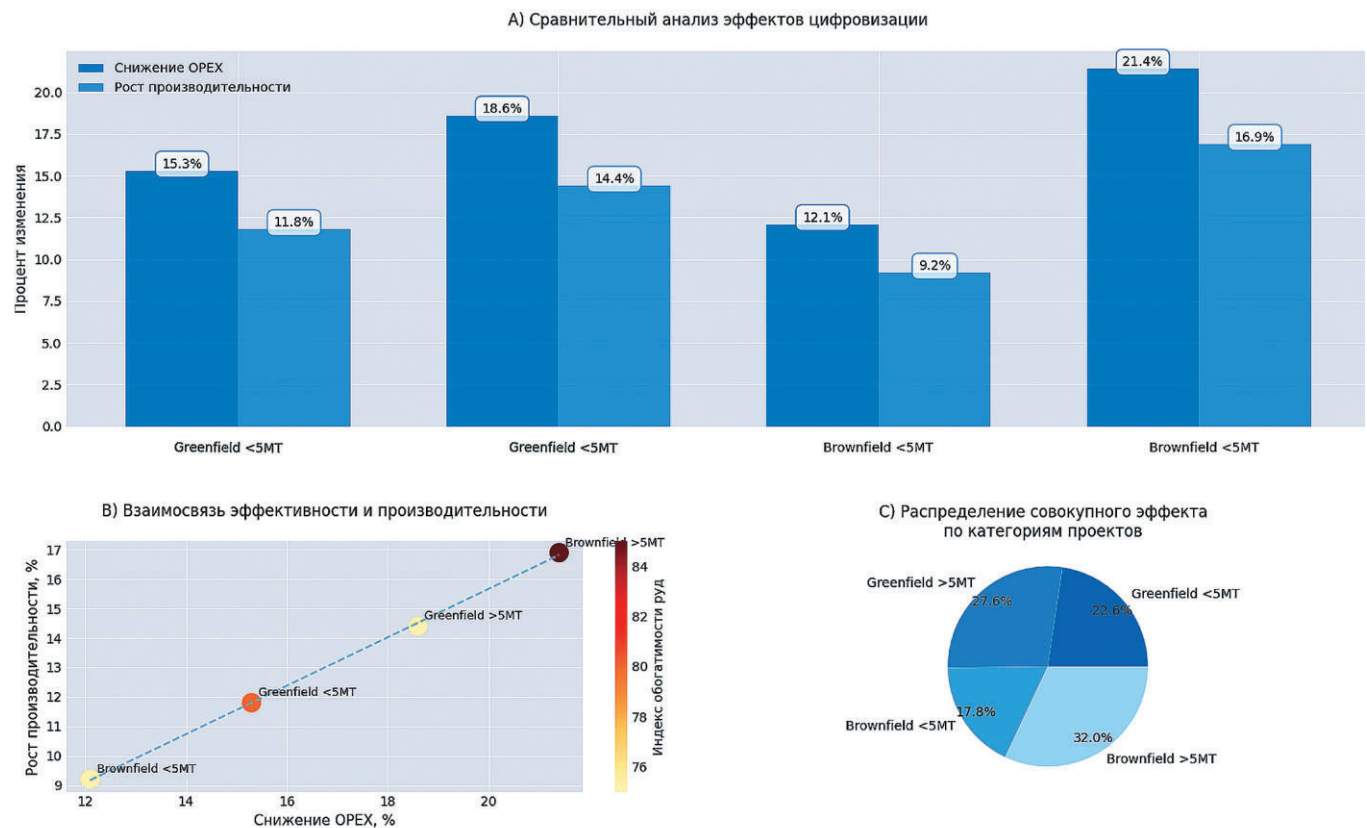


Рис. 3
Дифференциация эффектов цифровизации по категориям горнодобывающих проектов

Fig. 3
Differentiation of the digitalization effects by the categories of mining projects

Таблица 7
Декомпозиция эффектов цифровизации по стадиям производственного процесса

Table 7
Decomposition of the digitalization effects by the stages of the production process

Производственный процесс	Удельный вес в структуре затрат, %	Интегральный эффект цифровизации*, пп.
Геологоразведка	6,4	1,15
Вскрышные работы	12,7	2,24
Буровзрывные работы	8,5	1,62
Эксплуатация и транспортировка горной массы	28,6	4,37
Обогащение	26,8	3,95
Вспомогательные процессы	17,0	2,81
Всего	100,0	16,14

Примечания: * В процентных пунктах снижения удельных операционных затрат.
Расчёты автора на основе данных системы MineFOCS.
Note: * In percentage points of reduction in the per-unit operating costs.
Author's calculations based on the MineFOCS data

Таблица 8
Влияние уровня цифровизации геологоразведки на коэффициент извлечения полезных ископаемых

Table 8
Impact of the digitalization level in geological prospecting on the mineral recovery factor

Уровень цифровизации геологоразведки	Коэффициент извлечения, %	Прирост извлекаемых запасов относительно традиционных методов, %
Традиционная 2D-геологоразведка	82,5	-
3D-моделирование месторождений	88,9	7,8
Динамические 4D-модели	92,7	12,4

Расчёты автора на основе данных системы MineFOCS.
Author's calculations based on the MineFOCS data.

(4,37 пп.), обогащения (3,95 пп.) и вспомогательные процессы (2,81 пп.). Именно эти переделы характеризуются максимальным потенциалом автоматизации рутинных операций, внедрения интеллектуальных систем планирования и диспетчеризации, оптимизации парка горнотранспортного оборудования.

В свою очередь, специфическим эффектом цифровизации геологоразведки и моделирования месторождений является повышение коэффициента извлечения полезных ископаемых. Результаты выполненных расчётов (табл. 8) свидетельствуют, что использование цифровых моделей обеспечивает прирост извлекаемых запасов в среднем на 7,8% при переходе с уровня традиционной 2D-геологоразведки на 3D-моделирование и на 12,4% – при внедрении динамических 4D-моделей, учитывающих изменение параметров рудных тел в процессе отработки.

Комплексный характер эффектов цифровизации подтверждается высоким уровнем корреляции между технологическими, экономическими и экологическими показателями развития горнодобывающих проектов [18; 19]. В частности, коэффициент корреляции между индексом цифровизации и показателем эко-эффективности (удельные выбросы парниковых газов на единицу добавленной стоимости) составляет $-0,74$. Это означает, что технологическое перевооружение отрасли создаёт предпосылки для одновременной реализации целей операционной эффективности и устойчивого развития [20; 21].

Таким образом, внедрение передовых цифровых технологий, основанных на применении сетевых распределённых хранилищ данных, аналитики больших данных, роботизации и интеллектуальных систем управления, является необходимым условием долгосрочной конкурентоспособности компаний горнодобывающего сектора [22; 23]. Полученные количественные оценки трансформационных эффектов цифровизации могут быть использованы в качестве целевых ориентиров при разработке стратегий цифровой трансформации на микроуровне и отраслевом уровне.

Заключение

Проведённое исследование демонстрирует трансформационное влияние цифровых технологий и сетевых распределённых хранилищ данных на ключевые пара-

метры функционирования горнодобывающей отрасли. Внедрение интеллектуальных систем хранения и обработки информации обеспечило повышение точности разведки месторождений на 16,3%, сокращение времени анализа геоданных на 41,1% и рост числа исследуемых участков на 26,8% за период 2019–2023 гг. Цифровизация процессов добычи привела к росту производительности на 14,3% при одновременном снижении простоев оборудования на 32%. Применение цифровых двойников месторождений позволило увеличить коэффициент извлечения полезных ископаемых на 7,8–12,4%. Совокупный экономический эффект составил 21% экономии затрат в геологоразведке и добыче при сроке окупаемости инвестиций в 2–3 года. Удельные выбросы парниковых газов сократились на 11,4%, уровень утилизации отходов вырос до 83,8%.

Полученные результаты вносят вклад в понимание механизмов и закономерностей цифровой трансформации ресурсного сектора экономики. Они развивают концепцию Индустрии 4.0 применительно к специфике горнодобывающей отрасли, дополняя её количественными оценками технологических, экономических и экологических эффектов. Выявленная дифференциация влияния цифровизации в зависимости от стадии и масштабов реализации проектов, качества ресурсной базы проблематизирует упрощённые представления о единообразии цифровых преобразований. Декомпозиция интегрального эффекта по отдельным переделам расширяет понимание потенциала оптимизации производственных процессов. Раскрытые взаимосвязи между уровнем цифровизации и показателями устойчивого развития открывают перспективы комплексного решения задач технологической модернизации и экологизации горного производства.

Таким образом, цифровая трансформация выступает императивом долгосрочной конкурентоспособности горнодобывающей промышленности. Компании отрасли, активно внедряющие передовые цифровые решения, получают значимые конкурентные преимущества как по параметрам эффективности, так и с точки зрения соответствия повышающимся экологическим стандартам. Дальнейшее индустриальное развитие становится неотделимым от перехода к интеллектуальным системам управления полным циклом горного производства на основе обработки и анализа больших данных в сетевых распределённых средах.

Список литературы / References

1. Dhawan R., Singh K., Gans N. *Mining the digital future: How industrial companies can benefit from digital technologies in mining*. McKinsey & Company; 2018. 12 p.

2. Durrant-Whyte H., Geraghty R., Pujol F., Sellschop R. *How digital innovation can improve mining productivity*. McKinsey & Company; 2015. 8 p.
3. Khoruzhy L.I., Katkov Yu.N., Khoruzhy V.I., Romanova A.A., Katkova E.A. Forming an adaptive model of interorganisational management accounting in agribusiness organisations within the context of COVID-19 spreading. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2022;9(1):195–204. Available at: https://procedia-esem.eu/pdf/issues/2022/no1/25_Khoruzhy_22.pdf (accessed: 07.02.2025).
4. Lala A., Moyo M., Rehbach S., Sellschop R. *Productivity in mining operations: Reversing the downward trend*. McKinsey & Company; 2015. 12 p.
5. Mitchell P. *Top 10 business risks facing mining and metals*. EY; 2019. 56 p.
6. Khoruzhy L.I., Katkov Yu.N., Katkova E.A., Romanova A.A., Dzhikiya M.K. Introduction of environmental monitoring for the sustainable development of the agro-industrial complex: the method of the genuine savings index. *Journal of Law and Sustainable Development*. 2023;11(5):471.
7. Khoruzhy L.I., Katkov Yu.N., Khoruzhy V.I., Romanova A.A. Model of a cybernetic internal control system for provisioning inter-organisational management accounting of agricultural organisations. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2022;9(1):257–266. Available at: https://procedia-esem.eu/pdf/issues/2022/no1/31_Khoruzhy_22.pdf (accessed: 07.02.2025).
8. Khoruzhy L.I., Katkov Y.N., Khoruzhy V.I., Romanova A.A., Katkova E.A. Reporting system in the adaptive accounting and analytical system of providing inter-organizational collaboration of AIC organizations. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2442(1):020014. <https://doi.org/10.1063/5.0075800>
9. Romanova A. A conceptual model for the implementation of an active adaptive information and analytical system in the contour of self-organizational management systems. *Journal of Lifestyle and SDG'S Review*. 2025;5(2):e04042. <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n02.pe04042>
10. Khoruzhiy L., Romanova A. Control in the inter-organizational management accounting system. *E3S Web of Conferences*. 2020;222:01008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022201008>
11. Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Методические подходы к стандартизации сбора, хранения и анализа данных при управлении горнотехническими системами. *Горный журнал*. 2022;(12):55–61. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
Zakharov V.N., Kaplunov D.R., Klebanov D.A., Radchenko D.N. Methodical approaches to standardization of data acquisition, storage and analysis in management of geotechnical systems. *Gornyi Zhurnal*. 2022;(12):55–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.12.10>
12. Jamasmie C. *China's CITIC buys stake in Ivanhoe Mine for \$560 million*. Thomson Reuters. 11 June 2018. Available at: <https://www.biv.com/news/resources-agriculture/chinas-citic-buys-stake-ivanhoe-mine-560-million-8253028> (accessed: 07.02.2025).
13. Азиева Р.Х. Мониторинг результатов цифровой трансформации в нефтегазовой отрасли. *Естественно-гуманитарные исследования*. 2022;(40):21–28.
Azieva R.Kh. Monitoring the results of digital transformation in the oil and gas industry. *Natural-Humanitarian Studies*. 2022;(40):21–28. (In Russ.)
14. Рашидов А.Э., Кенжаев С.С. Методы и алгоритмы хранения файлов для оптимального управления различными типами данных. *Al-Farg'oni avlodlari*. 2024;1(3):82–92. Режим доступа: <https://al-fargoniy.uz/index.php/journal/article/view/466> (дата обращения: 07.02.2025).
Rashidov A., Kenjayev S. Methods and algorithms of file storage for optimal management of different types of data. *Al-Farg'oni avlodlari*. 2024;1(3):82–92. (In Russ.) Available at: <https://al-fargoniy.uz/index.php/journal/article/view/466> (accessed: 07.02.2025).
15. Куклина Е. А. О цифровой трансформации и финансировании цифровых месторождений в сегменте апстрим Российской Федерации. В кн.: *Актуальные теоретические и прикладные вопросы управления социально-экономическими системами: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 20 декабря 2019 г.* М.: Институт развития дополнительного профессионального образования; 2019. Т. 3. С. 127–131.
16. Куклина Е.А., Семкова Д.Н. Цифровые технологии как ключевой инструмент повышения эффективности нефтегазовой отрасли России в современных условиях функционирования. *Управленческое консультирование*. 2020;(4):53–65. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2020-4-53-65>
Kuklina E.A., Semkova D.N. Digital Technologies as a Key Tool to Increase the Efficiency of the Russian Oil and Gas Industry in Modern Conditions of Functioning. *Administrative Consulting*. 2020;(4):53–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2020-4-53-65>
17. Романова А.А., Забайкин Ю.В. Методика развития эффективно-ориентированных трудовых отношений в производственных организациях: комплексный подход. *Уголь*. 2024;(12):79–88. Режим доступа: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202412079> (дата обращения: 07.02.2025).
Romanova A.A., Zabaikin Yu.V. Methodology for the development of effectively-oriented labor relations in industrial organizations: an integrated approach. *Ugol'*. 2024;(12):79–88. (In Russ.) Available at: <https://ugolinfo.ru/index.php?article=202412079> (accessed: 07.02.2025).

18. Семенов П.В., Семишкур Р.П., Дяченко И.А. Концептуальная модель реализации технологии «цифровых двойников» для предприятий нефтегазового комплекса. *Газовая промышленность*. 2019;(7):24–30.
Semenov P.V., Semishkur R.P., Diachenko I.A. Conceptual model of digital twin technology. *Gazovaya Promyshlennost*. 2019;(7):24–30. (In Russ.)
19. Соколова Ю.Д. Процесс цифровой трансформации нефтегазовой отрасли Российской Федерации: состояние, барьеры, перспективы. *Administrative Consulting*. 2021;7(3):66–77.
Sokolova Yu.D. The process of digital transformation of the oil and gas industry of the Russian Federation: State, barriers, prospects. *Administrative Consulting*. 2021;7(3):66–77. (In Russ.)
20. Филиппов Т.К., Плотников И.Г. Использование цифровых технологий при принятии управленческих решений в нефтегазовом производстве. *Аллея науки*. 2020;1(5):964–969.
Filippov T.K., Plotnikov I.G. Use of digital technologies in making managerial decisions in the oil and gas industry. *Alleya Nauki*. 2020;1(5):964–969. (In Russ.)
21. Хасанов И.И., Рахматуллина Ю.А., Шакиров Р.А. Внедрение цифровых технологий в нефтегазовую отрасль России. *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. 2020;(4):24–28. Режим доступа: <https://journal-thnp.ru/media/4-2020/vnedrenie-cifrovyyh-tekhnologij-v-neftegazovuyu-otrasl-rossii.pdf> (дата обращения: 07.02.2025).
Khasanov I.I., Rakhmatullina Yu.A., Shakirov R.A. Implementation of digital technologies in the oil and gas industry of Russia. *Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons*. 2020;(4):24–28. (In Russ.) Available at: <https://journal-thnp.ru/media/4-2020/vnedrenie-cifrovyyh-tekhnologij-v-neftegazovuyu-otrasl-rossii.pdf> (accessed: 07.02.2025).
22. Цивилева А.Е., Голубев С.С. Методика проведения аудита цифровой зрелости организаций угледобывающей промышленности. *Уголь*. 2023;(12):24–29. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-24-29>
Tsvileva A.E., Golubev S.S. Methodology for conducting an audit of the digital maturity of coal mining organizations. *Ugol*. 2023;(12):24–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-24-29>
23. Черняев Д.С., Намиот Д.Е. Роль цифровых технологий в разведке, добыче и транспортировке нефтегазовых продуктов. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019;7(11):79–85.
Cherniaev D.S., Namiot D.E. The role of digital technologies in the exploration, production, and transportation of oil and gas products. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019;7(11):79–85. (In Russ.)

Информация об авторе

Романова Анастасия Алексеевна – кандидат экономических наук, научный сотрудник научно-образовательной лаборатории перспективных технологий, Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация; доцент кафедры информатики и вычислительной техники пищевых производств, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация; магистр 1-го курса, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: romanovargaymsha@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.01.2025
Поступила после рецензирования: 17.03.2025
Принята к публикации: 24.03.2025

Information about the author

Anastasia A. Romanova – Cand. Sci. (Econ.), Research Fellow at the Scientific and Educational Laboratory of the Cutting-edge Technologies, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation; Associate Professor at the Department of Informatics and Computer Engineering for Food Production, Russian Technological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russian Federation; 1st-year Master's student, Gubkin University, Moscow, Russian Federation; e-mail: romanovargaymsha@mail.ru

Article info

Received: 17.01.2025
Revised: 17.03.2025
Accepted: 24.03.2025