

# Экономические эффекты применения цифровых решений в горной промышленности (на примере западной части Арктики)

А.А. Гилярова ✉

Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация

✉ a.gilyarova@ksc.ru

**Резюме:** Горнодобывающее производство в западной части Арктики на современном этапе испытывает значительные трудности, вызванные увеличением глубины горных работ, снижением качества добываемой руды и осложнением горно-геологических условий. Использование цифровых решений, как показывает опыт основных горнодобывающих предприятий Кольского региона, позволяет в определенной степени снизить остроту этих проблем. Интенсивное внедрение цифровых технологий в основные бизнес-процессы горнодобывающего производства позволяет получать как прямые, так и косвенные экономические эффекты. Прямые эффекты включают получение дополнительной прибыли, снижение затрат и повышение производительности труда. Косвенные могут носить научный, технический и социальный характер, а также обеспечивать повышение безопасности горных работ. Задачей исследования стало обоснование научно-технического подхода к оценке экономических эффектов цифровых решений в горнорудной промышленности, основанного на параметрическом и сценарном моделировании дисконтированных денежных потоков. Результатом стали разработка графического алгоритма и раскрытие его пошагового описания для оценки экономических эффектов применения цифровых решений в горнорудной промышленности западной части Арктики. Применение цифровых решений оценивается как эффективное при одновременном выполнении условий получения положительных значений прямого и косвенного экономических эффектов. Предложенный научно-технический подход апробирован на примере одного из перспективных месторождений рудного минерального сырья западной части Арктики.

**Ключевые слова:** западная часть Арктики, горная промышленность, цифровые решения, экономические эффекты

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках государственного задания НИР №0186\_2022-0005.

**Для цитирования:** Гилярова А.А. Экономические эффекты применения цифровых решений в горной промышленности (на примере западной части Арктики). *Горная промышленность*. 2023;(6):95–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-95-102>

## Economic effects of using digital solutions in the mining industry (western Arctic case study)

A. A. Gilyarova ✉

tMining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

✉ a.gilyarova@ksc.ru

**Abstract:** Mining activities in the western part of Arctic is currently experiencing significant challenges caused by the increased mining depth, a decrease in the grades of the mined ore and the complicated mining and geological conditions. The use of digital solutions, as the experience of the main mining enterprises of the Kola region shows, can mitigate these challenges to a certain extent. The intensive introduction of digital technologies into the main business processes of mining production allows obtaining both direct and indirect economic effects. The direct effects include generation of additional profits, reducing costs and increasing labor productivity. The indirect ones can be of scientific, technical and social nature, as well as those concerned with improving the safety of mining operations. The objective of the study was to justify a scientific and technical approach to assessing the economic effects of digital solutions in the mining industry based on parametric and scenario modeling of the discounted cash flows. The result was to develop a graphical algorithm and disclose its step-by-step description for evaluating the economic effects of digital solutions for the mining industry in the Western part of Arctic. The use of digital solutions is estimated as an effective tool that meets the requirement to obtain positive direct and indirect economic effects. The proposed scientific and technical approach was tested using the case of one of the promising ore deposits in the Western part of Arctic.

**Keywords:** Western part of Arctic, mining industry, digital solutions, economic effects

**Acknowledgments:** The study was carried out within the framework of the state research task No.0186\_2022-0005.

**For citation:** Gilyarova A.A. Economic effects of using digital solutions in the mining industry (western Arctic case study). *Russian Mining Industry*. 2023;(6):95–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-95-102>

**Введение**

Западная часть российской Арктики, в частности Кольский регион, в определенной степени является региональным центром горнорудной промышленности. Здесь сосредоточены и уже более 70 лет функционируют крупные горнодобывающие предприятия: АО «Кольская ГМК» (Норникель), АО «Ковдорский ГОК» (Еврохим), КФ АО «Апатит» (ФосАгро), ГОК «Олений ручей» (СЗФК АКРОН), АО «Олкон» (Североникель), ООО «Ловозерский ГОК» (Росатом). Этими предприятиями обеспечивается добыча руды фосфатов – более 60%, нефелина – около 60%, около 20% – руды титана, циркония, ниобия. Редкоземельные элементы (РЗЭ) и металлы составляют свыше 60%, около 19% – металлические руды платиновой группы, 10% – никеля, более 3% – цинка, кобальта, серебра, в доле ко всем добываемым в России<sup>1</sup> [1–3].

Вместе с тем горнорудное производство западной части Арктики на современном этапе испытывает значительные трудности, которые заключаются в следующем:

- сокращение на разрабатываемых рудных месторождениях запасов, доступных для высоко- и среднеприбыльной отработки;
- переход добывающих работ на большие глубины приводит к существенному осложнению горно-геологических условий отработки запасов и росту себестоимости добычи;
- территориально концентрированная добыча данных видов рудного минерального сырья влечет за собой высокие транспортные расходы от производства до потребителей РФ, что в том числе снижает привлекательность внутреннего рынка;
- не получает развития, несмотря на высокую востребованность в РЗЭ и РМЭ другими отраслями промышленности РФ, комплексная переработка апатит-нефелиновых руд Хибинских и Ковдорских групп месторождений;
- несмотря на интенсивное внедрение цифровых решений, горнорудная промышленность западной Арктики имеет все еще недостаточный уровень информатизации, автоматизации и цифровизации. При этом имеет место небезопасная в современных условиях зависимость (до 80%) от иностранных горно-геологических систем, средств связи, автоматизированных и роботизированных машин и механизмов [4; 5].

Вовлечение в промышленную эксплуатацию наиболее перспективных рудных месторождений Кольского региона могло бы позволить решить ряд из перечисленных горно-геологических проблем, однако это сдерживается по ряду причин. К ним следует отнести и устаревшие методы оценки инвестиционной привлекательности месторождений рудного минерального сырья, не учитывающие как современную востребованность в России продукции рудного минерального сырья, так и уровень применения в горной промышленности цифровых решений [6; 7].

Также весьма перспективным является наличие во многих добываемых рудах западного сектора Арктики сопутствующих полезных компонентов, главным образом металлов редкоземельной группы. Это оставляет актуальным вопрос о комплексной их переработке с получением востребованных внутренним рынком горнорудных продуктов

(в виде соответствующих концентратов) и определенной степени снижения нагрузки на прилегающие приводные системы за счет уменьшения объемов отходов горного производства [7; 8].

Несколько иным, но также способствующим решению проблем горнорудной промышленности западной части российской Арктики, является более интенсивное внедрение в основные бизнес-процессы цифровых решений. Применение цифровых решений, или уровень цифровизации горнодобывающего предприятия, может быть разным: от информационного обеспечения процессов и операций, их автоматизации, роботизации, широкого применения цифровых технологий до трансформации самого бизнес-процесса вследствие цифровизации [4–6].

В работах [5; 6; 9] показано, что применение цифровых решений позволяет горнорудным предприятиям западной части Арктики не только перейти на новый уровень управления производством, но и получить выгоду в виде экономических эффектов. Так, на КФ АО «Апатит» цифровые решения позволили оптимизировать горные работы, повысить качество и надежность поверхностных маркшейдерских съемок, снизить эксплуатационные затраты; на АО «Ковдорский ГОК» – построить 3D геолого-структурную и гидрогеологическую модели месторождения, применить современные радарные системы для контроля устойчивости бортов карьера и тем самым повысить безопасность работ; на АО «Кольская ГМК», ГОК «Олений ручей» – повысить оперативность и детальность получаемой информации и тем самым снизить неопределенность и риски принимаемых решений. Есть и другие примеры широкого применения на предприятиях горнорудной промышленности цифровых технологий, позволивших автоматизировать операции, оборудование и применяемые горные механизмы, снизить эксплуатационные затраты [4–7].

К настоящему времени нет универсальной методики количественной оценки экономических эффектов [9; 10], но в отдельных работах приводятся примеры экономии десятков и сотен миллионов рублей за счет снижения эксплуатационных затрат, повышения производительности и безопасности работ [6].

Исследователями Российской Федерации, республик Беларусь и Казахстан [11–16] предлагаются подходы к оценке как уровня цифровизации предприятия в целом, так и получаемых количественных и качественных эффектов цифровых решений. В частности, оценка может быть выполнена с применением называемых авторами упрощенного (суммировании экспертных показателей цифровизации основных технологических процессов с учетом их весовых коэффициентов) и строгого (соотношение суммы экспертных показателей цифровизации основных технологических процессов с их весовыми коэффициентами и суммы самих коэффициентов при выполнении логических условий и требований по уровням компьютеризации, информатизации и цифровизации процессов) подходов. Следует отметить явный субъективизм, обусловленный привлечением экспертов, во-первых, с различной степенью квалификации, и, во-вторых, самой процедурой определения для технологического процесса балльной оценки и весового коэффициента.

Другой подход к оценке экономических эффектов внедрения цифровых решений основывается на методе NPV [16]. Рассматривается возможность формирования денежных потоков, формирующихся как в результате технологических процессов, так и от материальных запасов и

1 Государственный доклад «О состоянии использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году». Министерство природных ресурсов и экологии Рос. Федерации. Агентство по недропользованию (Роснедра). М.: 2022. 626 с.

ресурсов. В этом подходе представляется маловероятным с необходимой точностью определение и использование в конкретных расчетах количественных значений ряда учитываемых показателей и факторов (например, повышение точности планирования работ, экологической безопасности, степени клиентоориентированности и др.)

Необходимо отметить также и зарубежные работы по рассматриваемой тематике [17–21], развиваемые российскими исследователями [22; 23], прежде всего в части оценки уровня цифровизации (как инновации) предприятия или проекта. Обобщение этих работ позволило выявить 6 основных применяемых моделей: Беркли, ОРМЗ, модель Гаральда–Керцнера, модель СММ®SE и ее развитие для оценки непосредственно программного обеспечения, а также методологию европейского фонда управления качеством (таблица).

Как видно из таблицы, эти методы рассматривают, как правило, 4–6 уровней (от начального до максимального) с предлагаемыми различными инструментами (методами оценки) и получаемыми, соответственно, несколько разными итоговыми результатами.

На основе выполненного анализа выявлено, что экономические эффекты комплексного использования цифровых решений в основных процессах предприятий горнорудной промышленности выражаются как в прямых количественных показателях (прибыль, снижение издер-

жек, повышение производительности), так и в косвенных (повышение безопасности, научно-технический, социальный эффекты).

Целью данной работы являлось обоснование научно-технического подхода к оценке экономических эффектов цифровых решений в горнорудной промышленности западной части Арктики, основанного на параметрическом и сценарном моделировании дисконтированных денежных потоков.

**Методы**

В работе использованы методы и подходы, основанные на информационно-логическом анализе опубликованных исследований в части выявления как прямых, так и косвенных экономических эффектов. Для оценки формирования дисконтированных денежных потоков применено параметрическое моделирование на основе многовариантных компьютерных расчетов. Использован метод формирования сценариев (базового и с применением цифровых решений на трех уровнях) и выполнено сценарное моделирование. Для анализа полученных результатов использован сопоставительный анализ результирующих дисконтированных денежных потоков для базового сценария и сценариев с применением цифровых решений.

Для оценки прямых экономических эффектов внедрения цифровых решений, отражающих получение допол-

**Таблица**  
Международные методы и подходы к оценке уровня цифровизации предприятий (проектов)

**Table**  
International methods and approaches to assessing the level of digitalization of enterprises (projects)

Модель	Количественная оценка по уровням зрелости	Метод	Результаты, принятие решения
<b>Модель Беркли</b> The Berkeley Project Management Process Maturity Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Начальный;</li> <li>■ Индивидуальное планирование проектов;</li> <li>■ Управление как формализация и системность для всех проектов;</li> <li>■ Интеграция с целью документирования;</li> <li>■ Централизация, совершенствование</li> </ul>	Опросник с вариантами ответов	Усредненная оценка
Organizational Project Management Maturity Model <b>ОРМЗ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Стандартизация;</li> <li>■ Оценка;</li> <li>■ Управление;</li> <li>■ Непрерывное совершенствование</li> </ul>	Инструмент для определения зрелости в области управления проектами	Стандарт для корпоративного управления от отдельных проектов до стратегии в целом
Модель Гаральда–Керцнера Project Management Maturity Model <b>РМММ</b>	Уровни зрелости имеют свои характеристики и представляют различную степень в управлении проектами	Используется для оценки рисков «сопротивления нововведений»	Структурированная подборка элементов, описывающая свойства успешных процессов
Модель Capability Maturity Model Integration <b>СММІ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Хаотичность, непредсказуемость;</li> <li>■ Управляемость;</li> <li>■ Определенность;</li> <li>■ Количественная управляемость;</li> <li>■ Постоянное улучшение (оптимизация) процессов</li> </ul>	Содержит набор рекомендаций в виде практик, реализация которых позволяет реализовать необходимые цели	Совершенствование процессов в организациях разных размеров и видов деятельности
Модель по разработке программного обеспечения Capability Maturity Model for Software Engineering <b>СММ® SE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Начальный (Initial);</li> <li>■ Повторяемый (Repeatable);</li> <li>■ Определенный (Defined);</li> <li>■ Управляемый (Managed);</li> <li>■ Оптимизируемый (Optimized)</li> </ul>	Инструмент для системного развития внутренних процессов компаний	н/д
Методология европейского фонда управления качеством European Foundation for Quality Management <b>ЕFQM</b>	Контроль качества по направлениям: лидерство, стратегия, персонал, процессы, продукция и услуги, партнерство и ресурсы, результаты для потребителя, общества, бизнеса, предприятия и персонала	Оценка зрелости тождественна процессам обеспечения целевых показателей качества процессов	Внедрение «тотального» контроля качества процессов

Источники: [17–23].  
Source: [17–23].

нительной прибыли, снижение издержек и повышение производительности труда, предложено аналитическое выражение:

$$E_{ЦР} = (DD_{ЦР} - K_0 - DC_{ЦР} - I_{ЦР} - DI_{ЦР}) * Q_{ЦР} - (DD - K_0 - DC) * Q,$$

где  $E_{ЦР}$  – экономический эффект от внедрения цифровых решений (ЦР);  $DD_{ЦР}$  – дисконтированный доход от реализации единицы продукции, полученный с применением цифровых решений;  $K_0$  – удельные капитальные затраты;  $DC_{ЦР}$  – дисконтированные затраты на технологические процессы (ТП) и ЦР на производство единицы продукции;  $I_{ЦР}$  – удельные инвестиции на цифровые решения;  $DI_{ЦР}$  – дисконтированные инвестиции на развитие цифровых решений;  $Q_{ЦР}$  – объем производства с применением цифровых решений;  $DD$  – дисконтированный доход от реализации единицы продукции без цифровых решений;  $DC$  – дисконтированные затраты на ТП на производство единицы продукции;  $Q$  – объем производства без применения цифровых решений.

В предлагаемом подходе экономический эффект для расчетного года определяется из соотношения доходов и затрат для различных моделируемых сценариев: а) базового (без цифровых решений); начального – инвестиции на цифровые решения увеличивают капитальные затраты, но при этом экономические эффекты неочевидны; б) среднего – инвестиции на цифровые решения увеличивают капитальные затраты, но при этом достигаются некоторые экономические эффекты; в) высокого – инвестиции

на цифровые решения увеличивают капитальные затраты, а последующие инвестиции на сопровождение и сервис цифровых решений позволяют получить аккумулирующие экономические эффекты. Для этих сценариев выполняются расчеты дисконтированных денежных доходов и с использованием сравнительного анализа устанавливается наличие (или отсутствие) экономических эффектов и оцениваются их количественные значения.

**Результаты**

Предложен научно-технический подход к оценке экономических эффектов применения цифровых решений в горнорудной промышленности западной части Арктики, основанный на параметрическом и сценарном моделировании дисконтированных денежных потоков. Для представления подхода использованы методы графического (рис. 1) и тестового описания алгоритма, который может быть выполнен за 8 результирующих шагов.

1. Для основных технологических процессов выполняется технико-экономическая оценка и определяется базовый сценарий в части капитальных и эксплуатационных (текущих) затрат, с одной стороны, и показателей рентабельности, с другой.
2. Формируются три сценария (начальный, средний и высокий) с цифровыми решениями, учитывающими: информатизацию (информационное обеспечение), автоматизацию, роботизацию, цифровизацию

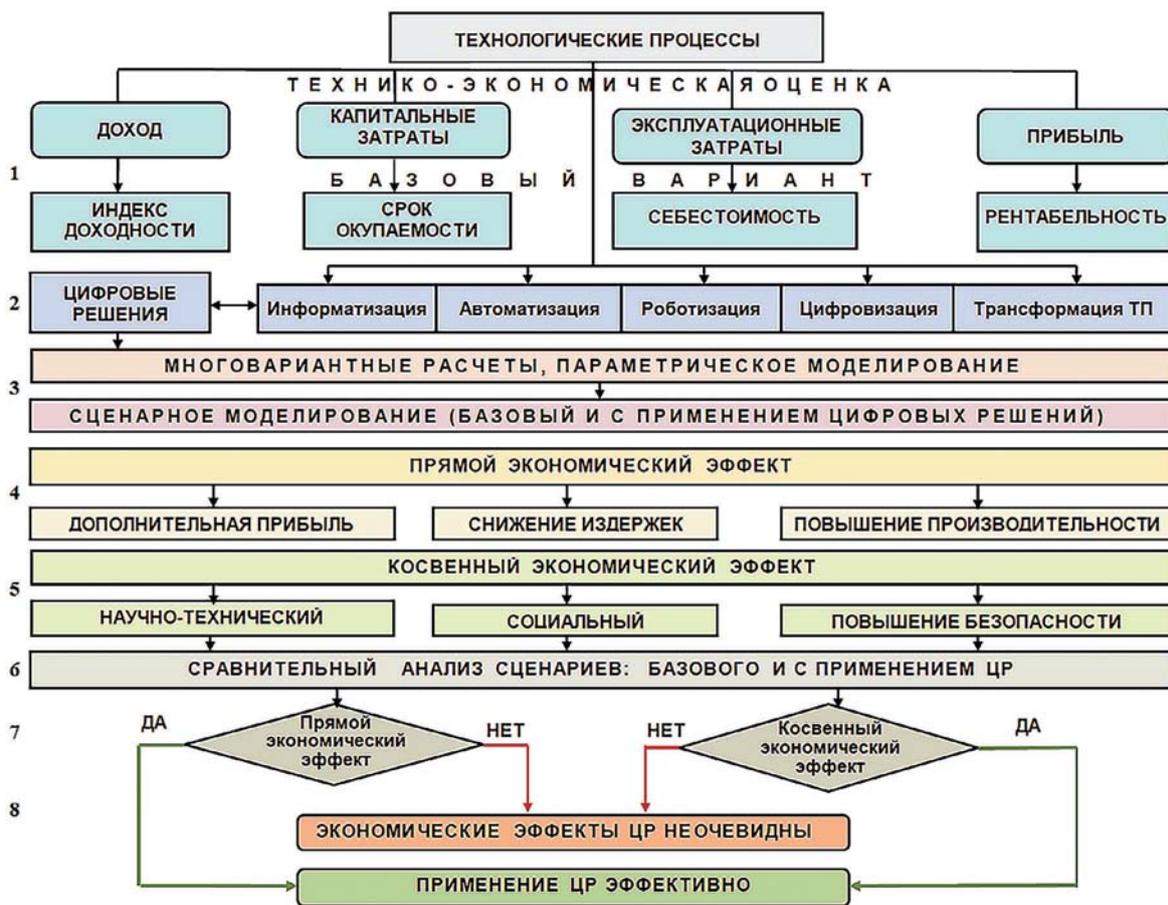


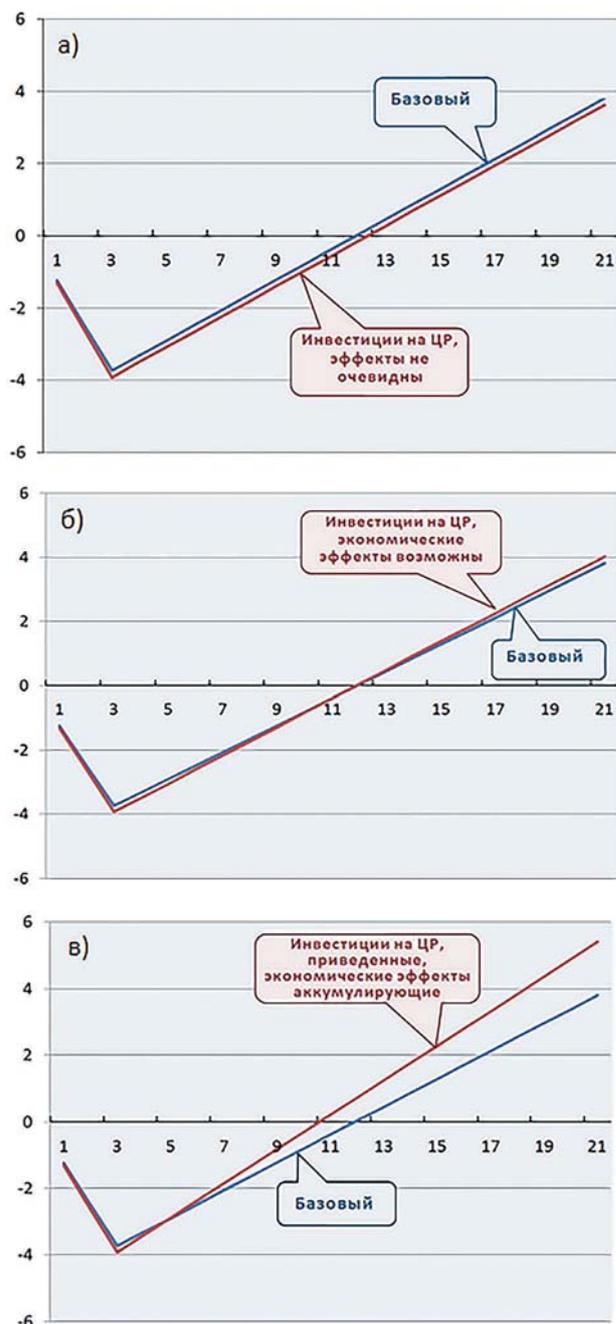
Рис. 1  
Блок-схема алгоритма научно-технического подхода к оценке экономических эффектов применения цифровых решений в горной промышленности

Fig. 1  
Block diagram featuring an algorithm of a scientific and technical approach to assessing the economic effects of digital solutions in the mining industry

- (внедрение ГИС) и трансформацию технологических процессов вследствие цифровизации.
3. Для принятых четырех сценариев с применением многовариантных расчетов и параметрического моделирования рассчитываются дисконтированные денежные потоки, детализированно отражающие соотношение «доходы–затраты».
  4. Выполняется моделирование в различных соотношениях базового сценария и сценариев с различным уровнем применения цифровых решений (сценарное моделирование).
  5. С использованием предложенного аналитического выражения (см. Методы) для количественных расчетов и экспертных заключений оцениваются прямой и косвенный экономические эффекты цифровых решений. Прямой экономический эффект может быть оценен количественно и включает в себя основные показатели: дополнительную прибыль, снижение издержек и повышение производительности предприятия в целом. Косвенный эффект исходя из подходов на сегодняшний день может быть оценен экспертно с точки зрения повышения научно-технического уровня, социальной значимости и повышения безопасности горного производства.
  6. На основе полученных данных выполняется сравнительный анализ сценариев: базового и с различным уровнем применения цифровых решений в части прямого и косвенного эффектов.
  7. Выполняется проверка условий наличия положительных значений прямого и косвенного экономических эффектов.
  8. Применение цифровых решений оценивается как эффективное при одновременном выполнении условий получения положительных значений прямого и косвенного экономических эффектов.

На основе предложенного научно-технического подхода выполнено многовариантное параметрическое моделирование формирования дисконтированных денежных потоков для типовых четырех сценариев: базового и с различным уровнем применения цифровых решений в бизнес-процессах. Выявленные наиболее характерные зависимости, в определенной степени отражающие уровень цифровизации посредством соотношения дохода, повышения капитальных затрат и снижения издержек, представлены на рис. 2. Расчетные зависимости для определенного расчетного года показывают соотношение дохода и затрат для различных моделируемых сценариев: базового (без цифровых решений) и сценария с цифровыми решениями, инвестиции на которые увеличивают капитальные затраты, но при этом экономические эффекты неочевидны (рис. 2, а); базового (без цифровых решений) и сценария с цифровыми решениями, инвестиции на которые увеличивают капитальные затраты, но при этом достигаются некоторые экономические эффекты (рис. 2, б); базового (без цифровых решений) и сценария с цифровыми решениями, инвестиции на которые увеличивают капитальные затраты, но последующие инвестиции на развитие, сопровождение и сервис позволяют получить аккумулирующие экономические эффекты (рис. 2, в).

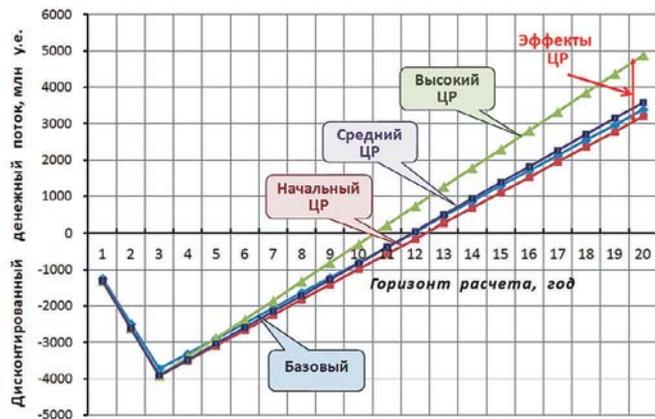
Предложенный научно-технический подход реализован применительно к одному из перспективных месторождений рудного минерального сырья Кольского региона, которое Росатом рассматривает в ближайшей перспективе для вовлечения в экономический оборот как источник



**Рис. 2**  
Сравнительный анализ сценариев с цифровыми решениями и базового: а – инвестиции на ЦР, экономические эффекты неочевидны; б – инвестиции на ЦР, экономические эффекты возможны; в – инвестиции на ЦР и на их развитие, экономические эффекты аккумулируются

**Fig. 2**  
Comparative analysis of the digital solutions scenario and the baseline scenario: а) investments in the digital solutions, economic effects are not obvious; б) investments in the digital solutions, economic effects are possible; в) investments in the digital solutions and their development, economic effects are accumulating

РЗЭ. Результаты расчетов дисконтирующих денежных потоков с использованием многовариантного параметрического моделирования приведены на рис. 3, графики которого позволяют синхронизировать сценарии с различным уровнем применения цифровых решений и базовый (без цифровых решений) сценарий.



**Рис. 3**  
Синхронизированные дисконтированные денежные потоки базового сценария и сценариев с различной степенью инвестирования в цифровые решения

**Fig. 3**  
Synchronized discounted cash flows of the Baseline scenario and scenarios with varying degrees of investment in digital solutions

Необходимо отметить, что на рис. 3 результаты представлены на начальный период отработки месторождения (горизонт расчета 20 лет) в условных значениях (в рублях условной размерности). Конкретные исходные данные для данного объекта для расчетов будут приняты инвестором, и в этом случае параметрическое и сценарное моделирование позволит выполнить количественную оценку как формирования дисконтированных денежных потоков, так и экономических эффектов применения цифровых решений.

**Обсуждение результатов**

Предложенный научно-технический подход на основе результатов параметрического и сценарного моделирования позволяет анализировать наиболее характерные уровни внедрения цифровых решений в горнорудное производство.

Как следует из рис. 2, а и 2, б, на которых сравниваются дисконтированные денежные потоки для принятых сценариев, начальный – фактически разовые (одномоментные) инвестиции в цифровые решения, приводящие к увеличению общего объема капитальных затрат, могут как дать экономические эффекты, так и не обеспечить их. В последнем случае график дисконтированного денежного потока будет ниже в сравнении с базовым и положительный баланс экономических эффектов не формируется. Если же инвестиции на цифровые решения (средний) несмотря на увеличение капитальных затрат приведут к сопоставимому снижению издержек, то через определенное время сформируется положительный баланс экономических эффектов. В случае когда инвестиции на цифровые решения

увеличивают капитальные затраты, но при этом с учетом последующих инвестиций на развитие, сопровождение и сервис издержки снижаются (высокий), применение цифровых решений позволяет получить аккумулирующие экономические эффекты (см. рис. 2, в).

Реализация подхода для конкретного месторождения руд РЗЭ Кольского региона (см. рис. 3), на основе которого построены синхронизированные дисконтированные денежные потоки в принятом условном выражении, дает количественное подтверждение выявленных закономерностей. Более высокий уровень цифровизации, выражаемый посредством увеличения инвестиций на внедрение и развитие цифровых решений, позволяет уменьшить срок окупаемости капитальных затрат с 10 до 8 лет и сформировать уже к 20-му расчетному году отработке ощутимые положительные экономические эффекты.

В части оценки качественных эффектов применения цифровых решений необходимы специальные проработки и поэтому целью дальнейших исследований должно являться развитие методического обеспечения оценки экономических эффектов цифровых решений в горнорудной промышленности и практическая апробация методических подходов на примере действующих горнодобывающих предприятий с различной степенью цифровизации (применения цифровых решений).

**Заключение**

В работе развито методическое обеспечение оценки экономических эффектов применения цифровых решений в горной промышленности западной части Арктики, заключающееся в разработке следующего научно-технического подхода. Для основных технологических процессов выполняется технико-экономическая оценка и определяется базовый сценарий горного производства. Затем формируются три сценария с цифровыми решениями (начальный, средний, высокий), учитывающими различный уровень информатизации, автоматизации, роботизации, цифровизации и трансформации технологических процессов вследствие цифровизации. С применением многовариантных расчетов и параметрического моделирования рассчитываются дисконтированные денежные потоки, отражающие соотношение «доход–затраты». Выполняется сценарное моделирование в различных соотношениях базового и с применением цифровых решений. Определяются прямой и косвенный экономические эффекты цифровых решений. Выполняется сравнительный анализ сценариев: базового и с применением цифровых решений, в части получаемых эффектов. Применение цифровых решений оценивается как эффективное при одновременном выполнении условий получения положительных значений прямого и косвенного экономических эффектов. Предложенный научно-технический подход апробирован на примере одного из перспективных месторождений рудного минерального сырья западной части Арктики.

**Список литературы**

1. Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В., Галямова А.Л., Мурашов К.Ю. Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе. // *Арктика: экология и экономика*. – 2015. – №1(17). – С. 38-46.  
2. Мельников Н.Н. Роль Арктики в инновационном развитии экономики России. *Горный Журнал*. – 2015. – №7. – С. 23-27

3. Нечаев А.В., Поляков Е.Г. Воссоздание редкоземельной промышленности Российской Федерации в новых условиях. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2022;(2):35–40.
4. Козлов А.В., Тесля А.Б. Цифровой потенциал промышленных предприятий: сущность, определение и методы расчета. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2019;25(6):101–110. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2019-25-6-101-110>
5. Балашов А.М. Внедрение современных цифровых технологий на горнодобывающих предприятиях. *Горная промышленность*. 2022;(6):83–86. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-83-86>
6. Лукичев С.В., Наговицын О.В., Чуркин О.Е., Гилярова А.А. Применение цифровых технологий для инвестиционной оценки горно-рудных проектов западной части Арктики. *Арктика: экология и экономика*. 2022;12(4):524–537. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-4-524-537>
7. Чуркин О.Е., Гилярова А.А. Методические подходы к оценке инвестиционной привлекательности перспективных рудных месторождений Мурманской области. *Фундаментальные исследования*. 2020;(11):205–210. <https://doi.org/10.17513/fr.42899>
8. Кныш В.А., Ларичкин Ф.Д., Невская М.А., Федосеев С.В., Блошенко Т.А., Мелик-Гайказов Т.А., Переин В.Н., Новосельцева В.Д., Гончарова Л.И., Гилярова А.А. *Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий*. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2019. 252 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-racionalnoe-ispolzovanie-vtorichnyh-mineralnyh-resursov.pdf>
9. Гилярова А.А. Оценка экономических эффектов цифровых технологий в горнодобывающем производстве. В кн.: *Цифровые технологии в горном деле: тезисы докладов Всерос. науч.-техн. конф., Апатиты, 16–18 июня 2021 г.* Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН; 2021. С. 19.
10. Кох Л.В., Кох Ю.В. Анализ существующих подходов к измерению цифровой экономики. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2019;12(4):78–89 <https://doi.org/10.18721/1E.12407>
11. Копанская А.А. Управление бизнес-процессами на горнодобывающем предприятии. *Управленческий учет*. 2021;(11):54–61. <https://doi.org/10.25806/uu11-1202154-61>
12. Закондырин А.Е. Наилучшие доступные технологии в горнодобывающем секторе: актуальные проблемы и пути их решения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(6-1):55–64. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-55-64>
13. Головенчик Г.Г., Потетенко С.В. Анализ цифровой трансформации производственного сектора Республики Беларусь. *Бизнес. Образование. Право*. 2022;(3):114–121. <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2022.60.343>
14. Аубакирова Г.М., Исатаева Ф.М., Куатова А.С. Цифровизация промышленных предприятий Казахстана: потенциальные возможности и перспективы. *Вопросы инновационной экономики*. 2020;10(4):2251–2268. <https://doi.org/10.18334/vines.10.4.111211>
15. Воробьев А.Е., Тчаро Х. Цифровизация нефтяной отрасли Казахстана. *Проблемы недропользования*. 2018;(1):66–75. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.01.066>
16. Мелешко Ю.В. Оценка экономической эффективности внедрения цифровых технологий на коммерческом предприятии горной промышленности. *Вестник института экономики НАН Беларуси*. 2022;(4):120–152.
17. Heras-Saizarbitoria I., Casadesu's M., Marimo'n F. The impact of ISO 9001 standard and the EFQM model: The view of the assessors. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2011;22(2):197–218. <https://doi.org/10.1080/14783363.2010.532330>
18. Manatos M.J., Sarrico C.S., Rosa M.J. The integration of quality management in higher education institutions: A systematic literature review. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2017;28(1-2):159–175. <https://doi.org/10.1080/14783363.2015.1050180>
19. Gueye E.H.M., Badri A., Boudreau-Trudel B. Sustainable development in the mining industry: towards the development of tools for evaluating socioeconomic impact in the Canadian context. *Environment, Development and Sustainability*. 2021;23(5):6576–6602. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00948-y>
20. Barnewold L., Lottermoser B.G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):747–757. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.003>
21. Tolosana-Delgado R., Mueller U., van den Boogaart K.G., Ward C., Gutzmer J. Improving processing by adaptation to conditional geostatistical simulation of block compositions. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015;115:13–26. Available at: <https://www.hzdr.de/publications/Publ-19459>
22. Гилева Т.А. Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления. *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика*. 2019;(1):38–52. <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52>
23. Брусакова И.А. Методы и модели оценки зрелости инновационной структуры. *Управленческие науки*. 2019;9(2):56–62. <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2019-9-3-56-62>

## References

1. Bortnikov N.S., Lobanov K.V., Volkov A.V., Galyamov A.L., Murashov K.Yu., Arctic resources of nonferrous and precious metals in global perspective, *Arctic: ecology and economy*, Russia, No. 1(17), pp. 38-46, 2015
2. Melnikov N.N., Role of the Arctic in innovation economic development of Russia, *Eurasian Journal, Russia*, No. 7, pp. 23-27, 2015.
3. Nechaev A.V., Polyakov E.G. Reconstruction of the rare earth industry in the Russian Federation. *Mineralnye Resursy Rossii. Ekonomika i Upravlenie*. 2022;(2):35–40. (In Russ.)
4. Kozlov A.V., Teslya A.B. Digital potential of industrial enterprises: essence, determination and calculation methods. *Transbaikal State University Journal*. 2019;25(6):101–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2019-25-6-101-110>
5. Balashov A.M. Introduction of modern digital technologies at mining enterprises. *Russian Mining Industry*. 2022;(6):83–86. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-83-86>
6. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Churkin O.E., Gilyarova A.A. Application of digital technologies for investment evaluation of mining projects in the western part of the arctic. *Arctic: Ecology and Economy*. 2022;12(4):524–537. (In Russ.) <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-4-524-537>

7. Churkin O.E., Gilyarova A.A. Methodological approaches to assessing the investment attractiveness of promising ore deposits in the Murmansk region. *Fundamental Research*. 2020;(11):205–210. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/fr.42899>
8. Knysh V.A., Larichkin F.D., Nevskaya M.A., Fedoseev S.V., Bloshenko T.A., Melik-Gaykazov T.A., Perein V.N., Novoseltseva V.D., Goncharova L.I., Gilyarova A.A. *Rational use of secondary mineral resources in the context of greening and implementation of the best available technologies*. Apatity: KSC RAS; 2019. 252 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-racionalnoe-ispolzovanie-vtorichnyh-mineralnyh-resursov.pdf>
9. Gilyarova A.A. Evaluation of the economic effects of digital technologies in mining. In: *Digital technologies in mining: Report All-Russian Scientific and Technical Conference, Apatity, June 16–18, 2021*. Apatity: KSC RAS; 2021, pp. 19. (In Russ.)
10. Kokh L.V., Kokh Yu.V. Analysis of existing approaches to measurement of digital economy. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. (In Russ.) 2019;12(4):78–89 <https://doi.org/10.18721/JE.12407>
11. Kopanskaya A.A. Business process management within the mining complex. *Management Accounting*. 2021;(11):54–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.25806/uu11-1202154-61>
12. Zakondyrin A.E. Best available techniques in mining industry: topical issues and solution methods. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(6-1):55–64. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-55-64>
13. Goloventchik G.G., Potetenko S.V. Analysis of the digital transformation of the manufacturing sector of the Republic of Belarus. *Business. Education. Law*. 2022;(3):114–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2022.60.343>
14. Aubakirova G.M., Isataeva F.M., Kuatova A.S. Tsifrovizatsiya promyshlennykh predpriyatiy Kazakhstana: potentsialnye vozmozhnosti i perspektivy. *Voprosy Innovatsionnoy Ekonomiki*. 2020;10(4):2251–2268. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/vi-nec.10.4.111211>
15. Vorobjev A.E., Tcharo H. Digitalization of the oil industry of Kazakhstan. *Problems of Subsoil Use*. 2018;(1):66–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2018.01.066>
16. Mialeshka Yu.V. Evaluation of the economic efficiency of digital technologies at commercial mining enterprise. *Vestnik instituta ekonomiki NAN Belarusi*. 2022;(4):120–152. (In Russ.)
17. Heras-Saizarbitoria I., Casadesu's M., Marimo'n F. The impact of ISO 9001 standard and the EFQM model: The view of the assessors. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2011;22(2):197–218. <https://doi.org/10.1080/14783363.2010.532330>
18. Manatos M.J., Sarrico C.S., Rosa M.J. The integration of quality management in higher education institutions: A systematic literature review. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2017;28(1-2):159–175. <https://doi.org/10.1080/14783363.2015.1050180>
19. Gueye E.H.M., Badri A., Boudreau-Trudel B. Sustainable development in the mining industry: towards the development of tools for evaluating socioeconomic impact in the Canadian context. *Environment, Development and Sustainability*. 2021;23(5):6576–6602. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00948-y>
20. Barnewold L., Lottermoser B.G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):747–757. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.003>
21. Tolosana-Delgado R., Mueller U., van den Boogaart K.G., Ward C., Gutzmer J. Improving processing by adaptation to conditional geostatistical simulation of block compositions. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015;115:13–26. Available at: <https://www.hzdr.de/publications/Publ-19459>
22. Gileva T.A. Digital maturity of the enterprise: Methods of assessment and management. *Bulletin USPTU. Science, Education, Economy. Series Economy*. 2019;(1):38–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52>
23. Brusakova I.A. Methods and models for estimating the maturity of the innovation structure. *Management Sciences*. 2019;9(3):56–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.26794/2304-022X-2019-9-3-56-62>

**Информация об авторе**

**Гилярова Ася Анатольевна** – кандидат экономических наук, Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-9655-5486>; e-mail: a.gilyarova@ksc.ru

**Information about the author**

**Asya A. Gilyarova** – Cand. Sci. (Econ.), Researcher, Mining Institute Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-9655-5486>; e-mail: a.gilyarova@ksc.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 08.09.2023  
Поступила после рецензирования: 24.10.2023  
Принята к публикации: 26.10.2023

**Article info**

Received: 08.09.2023  
Revised: 24.10.2023  
Accepted: 26.10.2023