

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ОЦЕНКИ ГОРНОРУДНЫХ ПРОЕКТОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АРКТИКИ

С. В. Лукичев, О. В. Наговицын, О. Е. Чуркин, А. А. Гилярова
Горный институт Кольского научного центра РАН (Апатиты, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 3 мая 2022 г.

Рассмотрены перспективные рудные месторождения западной части российской Арктики. Обоснована необходимость применения цифровых технологий в инвестиционной оценке горнорудных проектов. Предложен методический подход, базирующийся на параметрическом и сценарном моделировании, что позволяет минимизировать влияние факторов неопределенности и повысить оперативность. Выполнена инвестиционная оценка 13 перспективных месторождений как горнорудных проектов. Предложены сценарии вовлечения в экономический оборот инвестиционно привлекательных месторождений по видам минерального сырья.

Ключевые слова: перспективные месторождения, инвестиционная оценка, цифровые технологии, горнорудный проект, западная часть Арктики.

Введение

Как известно, Арктическая зона России обладает значительными ресурсами рудного минерального сырья. Суммарная стоимость полезных компонентов в рудных месторождениях сопоставляется с нефтегазовыми ресурсами арктических территорий, а удельный вес в минерально-сырьевой базе страны составляет: руды фосфатов — более 60%, нефелин — 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 [1—4]. Перспективы освоения рудных месторождений Арктической зоны во многом определяются близостью к Северному морскому пути, что значительно повысит рентабельность работы рудников за счет использования водного транспорта. Вместе с тем имеется ряд факторов, ограничивающих реализацию в арктических районах инвестиционных горнорудных проектов [5].

Значительная часть ценного рудного минерального сырья территориально располагается в западной части российского сектора Арктики [4; 6; 7], пред-

ставлена количественно в долях запасов и добычи рудного минерального сырья (в процентах от показателей России) (рис. 1). По фосфатным рудам, РЗЭ, нефелину доля запасов превышает 60%, по титану, ниобию, цирконию составляет около 20%, в то время как добыча этих руд полностью ведется в Мурманской области. Необходимо отметить железные, медно-никелевые и хромовые руды, а также перспективное рудное сырье стратегически важных, редких, редкоземельных, благородных и цветных металлов.

В [3—5; 7; 8] выделен ряд горно-геологических и геотехнических ограничений на экономическое развитие предприятий горнорудной промышленности России:

- выработка легкодоступных (зачастую приповерхностных) запасов рудного минерального сырья и снижение качества полезного ископаемого;
- возрастание глубины (переход на более глубокие горизонты) ведения горнорудных работ;
- возрастание как физических объемов, так и эксплуатационных затрат на реализацию процессов транспортирования и переработки рудной массы;
- возрастание эксплуатационных затрат на производство рыночного продукта (рудного концентрата) необходимого качества;

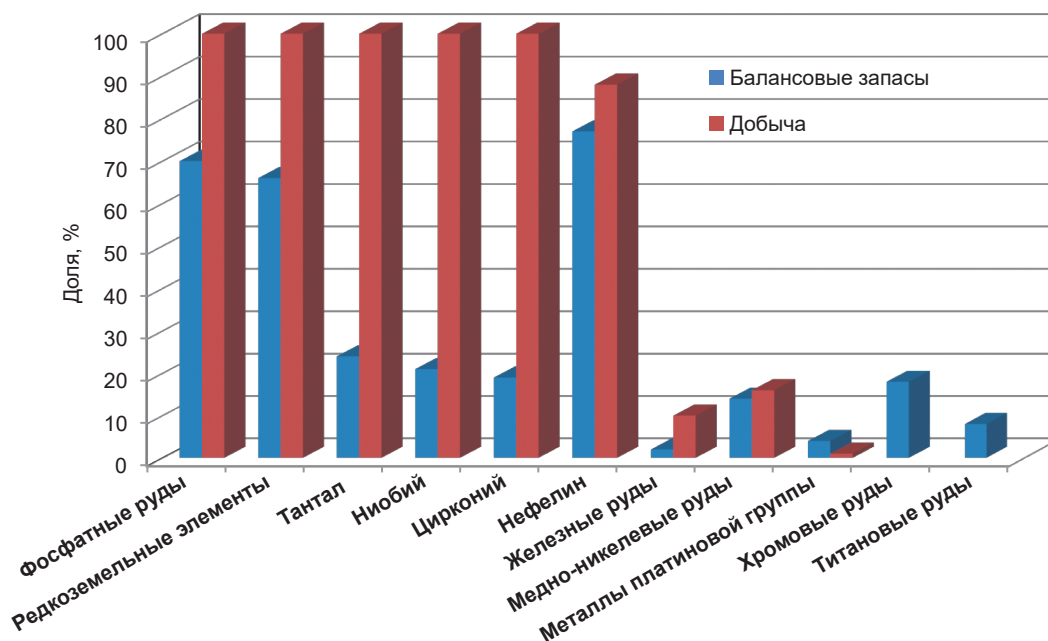


Рис. 1. Доля западной части Арктики в запасах и добыче рудного минерального сырья в России [4; 6; 7]
 Fig. 1. The share of the Western part of the Arctic in the reserves and production of ore mineral raw materials in Russia [4; 6; 7]

• возрастание необходимости широкого внедрения и использования цифровых технологий.

Преодоление перечисленных ограничений возможно среди прочего за счет вовлечения в экономический оборот перспективных рудных месторождений западной части Арктики, в частности Мурманской области.

В Мурманской области имеется много перспективных месторождений рудного минерального сырья (рис. 2). Их расположение характеризуется недостаточно развитой транспортной инфраструктурой, а целый ряд месторождений сравнительно удалены и труднодоступны. Необходимость строительства железнодорожных и автомобильных дорог, энергообеспечивающих систем, социальных объектов сдерживает их вовлечение в промышленный оборот. При этом Мурманская область — развитый горнопромышленный регион, и относительная близость крупных горнорудных предприятий играет положительную роль при рассмотрении потенциальных инвестиционных горнорудных проектов.

В [4; 5; 8] показано, что в Мурманской области имеется ряд перспективных месторождений, имеющих запасы более 10 млн т (отдельные — до 70—90 млн т) качественного полезного ископаемого и расположенных относительно недалеко (30—180 км) от крупных действующих горнорудных предприятий и железных и автомобильных дорог. Вместе с тем практически на каждом месторождении отсутствуют дороги и энергообеспечение (табл. 1).

Как известно, добыча рудных полезных ископаемых — консервативное производство. Его совершенствование происходило лишь путем механизации процессов или операций с внедрением все

более мощных механизмов и горного оборудования [9]. Лишь в сравнительно недавнее время в горнорудном производстве происходят достаточно революционные преобразования, вызванные созданием и внедрением цифровых технологий и решений.

По оценке Глобального института McKinsey (MGI), уже в ближайшие 20 лет до 50% рабочих операций в мире могут быть автоматизированы, и по масштабам этот процесс будет сопоставим с промышленной революцией XVIII—XIX вв. [10]. Цифровая экономика преобразовывает стандартные модели отраслевых рынков, а также повышает конкурентоспособность их участников. Тем самым цифровизация определяет перспективы роста компаний, отраслей и национальных экономик в целом. По оценкам MGI, потенциальный экономический эффект от дальнейшей цифровизации экономики России увеличит ВВП страны к 2025 г. на 4,1—8,9 трлн руб. (в ценах 2015 г.), что составит 19—34% общего ожидаемого роста ВВП [10]. Следует ожидать пропорционального роста и в горнорудной добывающей промышленности [9].

Эти экономические прогнозы основываются как на эффектах от автоматизации технологических процессов, так и на внедрении принципиально новых бизнес-моделей и технологий. Среди них цифровые платформы, цифровые промышленные системы, применение информационных технологий «Big Data», «Cloud Service», технологий «Индустрии 4.0», построение цифровых 3D-моделей, роботизация техники и оборудования, Интернет вещей. По оценке MGI, только Интернет вещей до 2025 г. будет ежегодно приносить мировой экономике 4—11 трлн долл. [10].

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

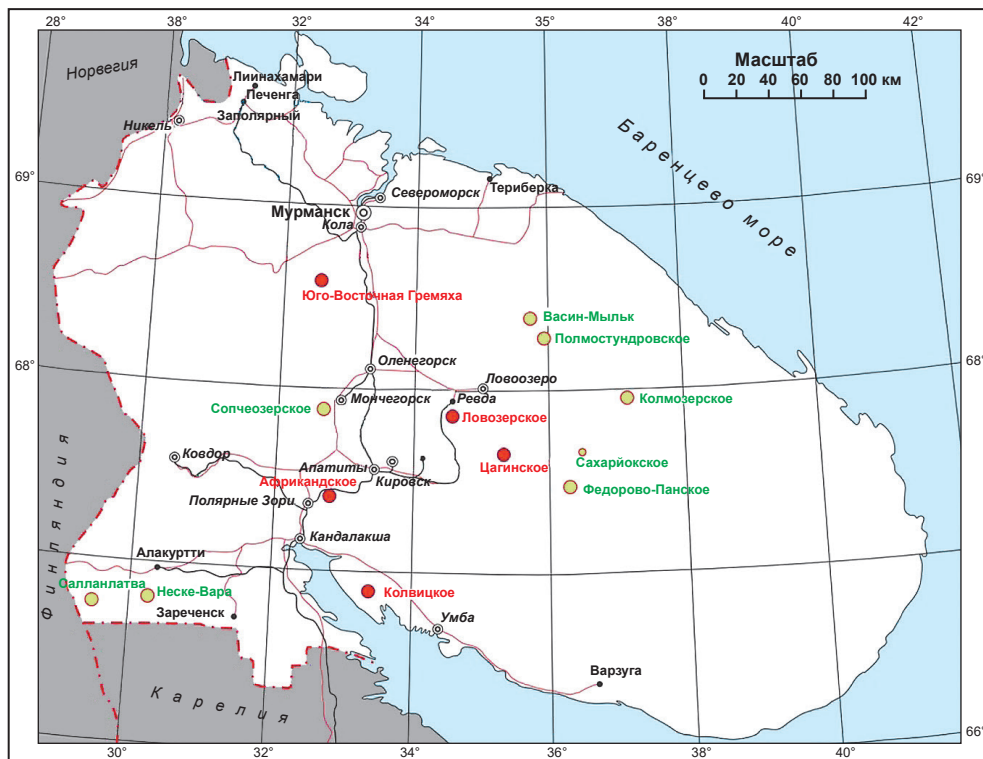


Рис. 2. Схема расположения перспективных рудных месторождений Мурманской области
Fig. 2. Layout of promising ore deposits in the Murmansk region

Таблица 1. Геолого-экономические данные по перспективным месторождениям Мурманской области

№	Район	Вид сырья	Место-рождение	Содержание полезных компонентов, %	Запасы, млн т	Удаленность	Транспортная инфраструктура
1	Ловозерский	Пегматиты	Колмозерское	Li ₂ O — 1,13, BeO — 0,037, Ta ₂ O ₅ — 0,009, Nb ₂ O ₅ — 0,011	> 70	100 км от поселка Ревада, ООО «Ловозерский ГОК»	Отсутствие дорог, гусеничный и авиатранспорт
2	Ловозерский	Пегматиты	Полмостундровское	Li ₂ O — 1,25, BeO — 0,027, Ta ₂ O ₅ — 0,004, Nb ₂ O ₅ — 0,007	~ 30	70 км от поселка Ревада, ООО «Ловозерский ГОК»	Отсутствие дорог, гусеничный и авиатранспорт
3	Ловозерский	Пегматиты	Васин-Мыльк	Cs ₂ O — 0,37, Li ₂ O — 0,90, BeO — 0,053, Ta ₂ O ₅ — 0,03	> 10	50 км от поселка Ревада, ООО «Ловозерский ГОК»	Отсутствие дорог, гусеничный и авиатранспорт
4	Канда-лакшский	Карбонаты	Неске-Вара (массив Вуориярви)	Ta ₂ O ₅ — 0,008, Nb ₂ O ₅ — 0,22	> 90	100 км от станции Алакурти, АО «Новдорский ГОК»	Грунтовая дорога
5	Ловозерский	Иттрий-циркониевые руды	Сахарйокское	ZrO ₂ — 1,07, Y ₂ O ₃ — 0,031	~ 15	85 км, ООО «Ловозерский ГОК»	Отсутствие дорог, гусеничный и авиатранспорт
6	Ловозерский	Эвдиалитовые руды	Ловозерское (участок Аллуайв)	ZrO ₂ — 3,2, Y ₂ O ₃ — 0,11	> 70	10 км от рудника Карнасурт, ООО «Ловозерский ГОК»	Грунтовая дорога

Окончание табл.1

№	Район	Вид сырья	Месторождение	Содержание полезных компонентов, %	Запасы, млн т	Удаленность	Транспортная инфраструктура
7	Мончегорский	Хромиты	Сопчеозерское	Cr_2O_3 — 2,4	> 10	3 км от Мончегорска, АО «Кольская ГМК»	Автодорога
8	Африкандский	Перовскит-титаномагнетитовые руды	Африкандское	TiO_2 — 12,03, Fe — 14,2, $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5$ — 0,22, TR_2O_3 — 0,67	> 190	1,5 км от ж/д станции Африканда, 70 км от АО «Ковдорский ГОК»	Железная и автодорога от г. Полярные Зори
9	Ловозерский	Металлы платиновой группы	Федорово-Панская тундра	Pd — 1,2, Pt — 0,3, Au — 0,07, Ni — 7, Cu — 11	> 20	60 км от поселка Ревда, ООО «Ловозерский ГОК»	Отсутствие дорог, гусеничный и авиатранспорт
10	Кольский	Ильменит-титаномагнетитовое	Юго-Восточная Гремяха	TiO_2 — 13,26%, $\text{Fe}_{\text{вал}}$ — 29,34%	> 10	25 км от поселка Мурмаши	Грунтовая дорога
11	Ловозерский	Ильменит-титаномагнетитовые руды с ванадием	Цагинское	$\text{Fe}_{\text{вал}}$ — 32%, TiO_2 — 6,23%, V_2O_5 — 0,24%	> 50	18 км от озера Ловозеро, ООО «Ловозерский ГОК»	Гусеничный и авиатранспорт
12	Кандалакшский	Ильменит-титаномагнетитовые руды с ванадием	Колвицкое	$\text{Fe}_{\text{вал}}$ — 46,4, TiO_2 — 8, V_2O_5 — 0,45	> 90	12 км от Кандалакши, АО «Ковдорский ГОК»	Гусеничный, водный и авиатранспорт
13	Кандалакшский	Вермикулит, ниобий	Салланлатва	Nb_2O_5 — 0,3	> 70	65 км от станции Алакуртти, АО «Ковдорский ГОК»	Грунтовая дорога

В [9; 11; 12] приводятся примеры широкого применения на предприятиях горнорудной промышленности современных геотехнологий, что отвечает требованиям политики цифровизации промышленной информации и вместе с тем позволяет автоматизировать операции, оборудование и применяемые горные механизмы, снизить эксплуатационные затраты при разработке рудных месторождений и в конечном счете способствует повышению эффективности развития горнорудного добывающего комплекса России (табл. 2).

С учетом этого целями данной работы являлись: 1) модернизация инвестиционной оценки горнорудных проектов в части применения инструментов моделирования и цифровых технологий; 2) оценка на этой основе инвестиционной привлекательности перспективных месторождений рудного минерального сырья западной части Арктики.

Методы

Согласно [13—17], существующие методы оценки инвестиционных проектов подразделяются на две группы: простые (в которых денежные поступления и выплаты, возникающие в разные моменты, оцени-

ваются как равноценные, т. е. статические) и сложные (на основе концепции дисконтирования, или динамические).

К простым можно отнести методы, основанные на:

- расчете времени, за которое доходы от реализации производимого продукта сравняются с капиталовложениями в его освоение («срок окупаемости инвестиций»);
- расчете показателя, характеризующего процентное отношение прибыли за определенный период к авансированному на начало этого периода капиталу («норма прибыли на капитал»);
- расчете разности между суммой доходов и инвестиционными издержками (единовременными затратами) за весь срок использования инвестиционного проекта (Cash-flow, или «накопленное сальдо денежного потока»);
- определении сравнительной эффективности капитальных затрат на производство продукции («эффективность затрат»);
- сравнении массы прибыли по вариантам («сравнение прибыли»).

Простые методы оценки инвестиционных проектов в современных быстро изменяющихся условиях

Таблица 2. Примеры получения горными предприятиями социально-экономического эффекта за счет использования цифровых технологий [9; 11; 12]

Горное предприятие	Проект	Цифровые технологии	Социально-экономический эффект
ПАО «ФосАгро»	Кировский филиал АО «Апатит», Кировский рудник	3D-модели месторождения и рудника	Оптимизация горных работ. Снижение эксплуатационных затрат
ПАО ГМК «Норникель»	Рудник	3D-модель рудника	Оптимизация горных работ. Снижение эксплуатационных затрат
ПАО «Акрон»	ГОК «Олений ручей»	3D-месторождения. Автоматизация транспортировки	Оптимизация горных работ. Снижение эксплуатационных затрат
Dundee Precious Metals, Канада	Рудник «Chelapech»	Цифровые технологии, связь и диспетчеризация	Снижение себестоимости с 60 до 40 долл. за 1 т. Повышение годового объема переработки руды с 500 тыс. до 2 млн т
Rio Tinto Group	Rio Tinto	Беспилотная техника, цифровые двойники производств, комплексные информационные системы	Повышение уровня безопасности, отсутствие людей на потенциально опасных участках; снижение эксплуатационных затрат
ПАО «Полюс»	Карьер «Восточный»	Беспилотная техника — самосвалы. Автоматическая система управления оборудованием, горно-геологическая информационная система	Повышение уровня безопасности, управляемости и операционной эффективности. Снижение эксплуатационных затрат
ПАО «Сибур Холдинг»	Цифровизация логистических процессов	Визуализация основных показателей и технологических операций	Экономия до 100 млн руб.
ПАО «Мечел»	ПАО «Южный Кузбасс»	Интеграция промышленных систем с бизнес-приложениями	Единый цикл планирования, исполнения, контроля, учета и анализа деятельности предприятия, сокращение времени принятия управленческих решений
Evrax Group	Цифровая трансформация горно-металлургического холдинга — 24 проекта	Беспилотные летательные аппараты для маркшейдерской съемки на предприятиях «Распадской угольной компании»	Повышение эффективности производства, безопасность труда. Снижение эксплуатационных затрат
ОК «Русал»	Программа цифровизации, внедрение современных информационных технологий	Модернизация сетевой инфраструктуры технического учета и телеметрии, внедрение системы управления производственными процессами (MES-системы)	Снижение себестоимости готовой продукции, повышение ее конкурентоспособности
АО «Евраз ЗСМК»	«Цифровой двойник»	Создание цифрового двойника предприятия	Ежегодный эффект — 600 млн руб.

целесообразно применять при длительности проекта максимум до трех лет. Для проектов с более длительным сроком реализации определяющим должно быть равномерное распределение затрат и прогнозируемого дохода по годам. Горнорудные

проекты характеризуются большой капиталоемкостью и длительностью реализации, поэтому для них необходим учет фактора времени, так как статические методы будут давать некорректные результаты. Для инвестиционной оценки горнорудных проектов

целесообразно использовать методы, основанные на концепции дисконтирования [13—17].

Такие динамические методы основаны на сложных определениях:

- чистого дисконтированного (приведенного) дохода (стоимости) (метод «чистого дисконтированного дохода (стоимости)» — ЧДД, или Net Present Value — NPV);
- внутренней нормы доходности (метод «внутренняя норма доходности» (ВНД), или Internal Rate of Return — IRR);
- дисконтированного срока окупаемости инвестиций $T_{\text{окд}}$ (метод «дисконтированный срок окупаемости», или Discounted Payback Period — DPP);
- индекса доходности дисконтированного (метод «индекс доходности дисконтированный» (ИДД) или Profitability Index — PI).

Анализ российской и зарубежной литературы [13—22] показывает, что в настоящее время недостаточно разработаны научно-методические подходы к оценке эффектов применения цифровых решений на горнодобывающих предприятиях, что снижает потенциал цифровизации и экономического развития предприятия. В основном оценка инвестиционной привлекательности проекта базируется на анализе соотношения «доходы-затраты». К наиболее известным и широко применяемым относятся: методика United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) [18], модели European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) [19], методические рекомендации Минэкономки России [20], отраслевые методические рекомендации и методики [21].

К основным недостаткам известных на сегодня подходов, затрудняющих их использование при оценке инвестиционной привлекательности горнорудного проекта, следует отнести:

- отсутствие единых критериев отнесения горнорудного проекта к категории инвестиционно привлекательных;
- отсутствие четких критериев определения оптимального срока окупаемости инвестиций в горнорудный проект;
- отсутствие четких рекомендаций по принятию (расчету) и обоснованию принимаемой величины ставки дисконтирования, вследствие чего имеет место неопределенность в расчетных значениях ЧДД;
- отсутствие проработанного механизма оценки рисков различной природы, присущих горной промышленности в арктических условиях;
- отсутствие современной методики инвестиционной оценки горнорудных проектов, связанных с освоением месторождений и объектов складирования отходов горного производства западной части Арктики.

Все это позволяет прийти к выводу, что в настоящее время для решения задачи инвестиционной оценки горнорудных проектов нет единого научно обоснованного методического подхода, который

среди прочего учитывал бы влияние цифровых технологий на эффективность производства. Авторы в данной работе выполнили модернизацию инвестиционной оценки горнорудного проекта в части применения инструментов цифрового моделирования и автоматизированной технико-экономической оценки для определения инвестиционной привлекательности проекта. Этот методический подход служит для оценки инвестиционной привлекательности перспективных месторождений рудного минерального сырья западной части Арктики.

Отличительной особенностью предложенной авторами модернизации является многовариантное, параметрическое и сценарное моделирование исходных данных и влияющих параметров, что позволяет минимизировать влияние факторов неопределенности и субъективизма (рис. 3).

Для реализации методического подхода разработан алгоритм, включающий шесть основных шагов (показаны на рис. 3 нумерацией и выделены цветом фона):

1. Техничко-экономическая оценка горнорудного проекта. Исходные горнотехнические и экономические данные для этого формируются из блока «Ресурсы» [8; 26]. Отличительной особенностью здесь является использование методов моделирования объектов горной технологии для реализации проекта [9; 11; 22—27]. Такой подход возможен благодаря применению горно-геологических информационных систем (ГГИС) с дополнением их функционала программными средствами решения задач инвестиционной оценки горнорудных проектов. В Горном институте КНЦ РАН создана ГГИС MINEFRAME, обладающая необходимым функционалом для решения задач технико-экономической оценки перспективных месторождений. На основе цифровой модели запасов формируется представление о целесообразности и масштабах производства. По запасам месторождения и его геометрии определяется годовая производительность предприятия, создаются модели выработок, формирующие систему разработки (открытым или подземным способом), оцениваются объемы горных работ, осуществляется предварительный выбор основного и вспомогательного технологического оборудования, рассчитываются экономические показатели предприятия. Например, в ГГИС MINEFRAME с этой целью создан набор инструментов, обеспечивающий выбор из базы данных необходимого технологического оборудования; формирование технологических комплексов с определением их характеристик и показателей; автоматизированное построение выработок с заданными параметрами (рис. 4) [9].

2. Определение путем многовариантных расчетов с использованием значений влияющих параметров, факторов и рисков показателей ЧДД, ВНД, ИДД, $T_{\text{окд}}$, характеризующих рассматриваемый инвестиционный проект. Для расчета ЧДД используются: горизонт расчета и конкретный ожидаемый

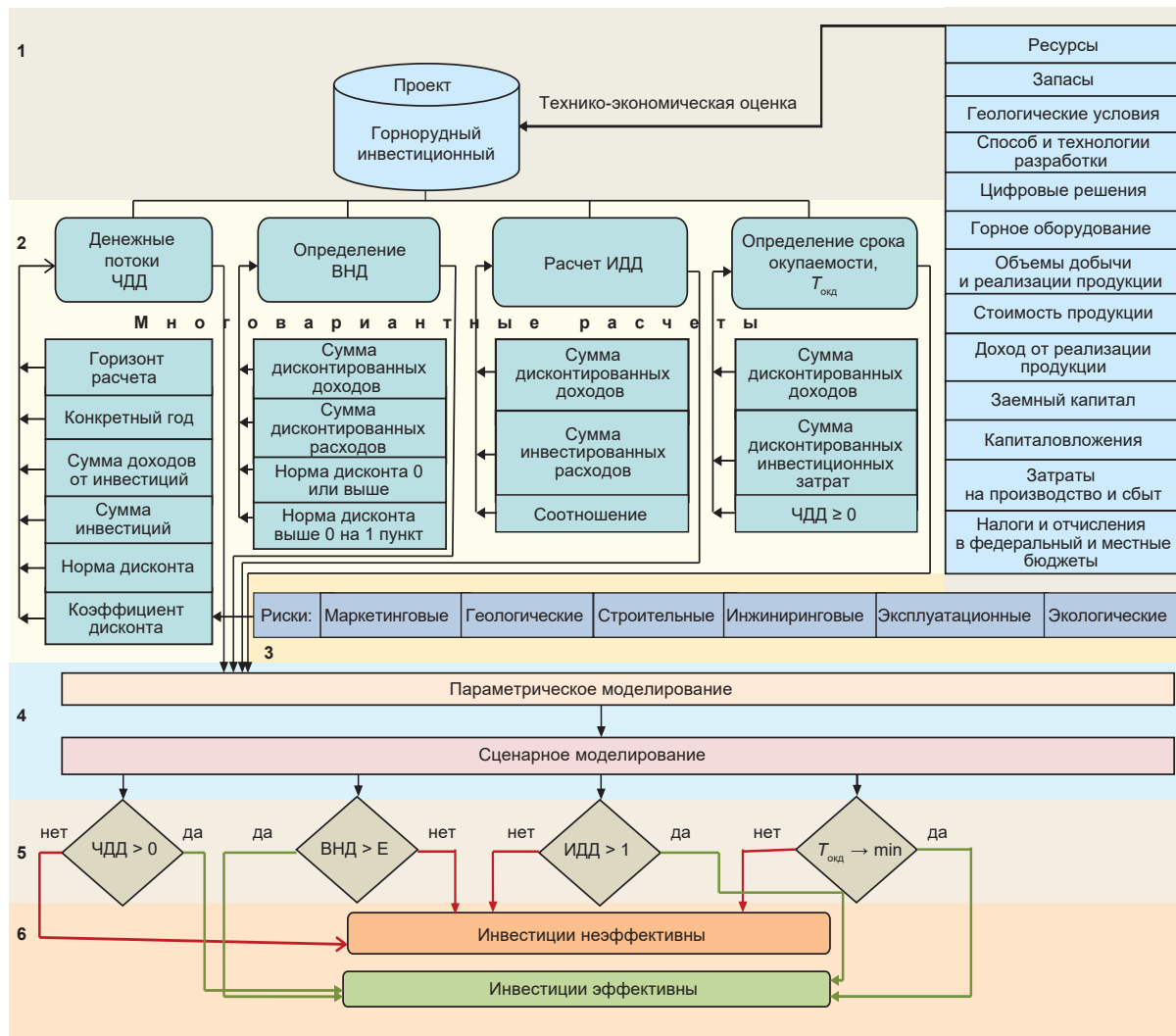


Рис. 3. Предлагаемый методический подход к инвестиционной оценке горнорудных проектов
 Fig. 3. Proposed methodological approach to investment assessment of mining projects

год; объемы инвестиций и ожидаемых доходов; норма и ставка дисконта, посредством которых также учитываются различного рода риски — геологические, природно-климатические, инженерно-строительные, финансовые, геополитические, экологические, непреодолимой силы и др. [26; 27]. ВНД определяется из соотношения объемов дисконтированных доходов и расходов. ИДД рассчитывается по соотношению дисконтированных доходов и расходов. Период возврата (возмещения) инвестиций или срок окупаемости $T_{окд}$ определяется временем, за которое накопленный дисконтированный доход сравнивается и превышает дисконтированные расходы (инвестиции).

3. Оценка рисков различной природы, влияющих на величину коэффициента дисконтирования. Этот коэффициент применяется для приведения денежного потока на определенном шаге многошагового расчета эффективности инвестиционного проекта к моменту, называемому моментом приведения.

4. Параметрическое и сценарное моделирование реализации горнорудного проекта. Под параметризацией, как указано выше, здесь понимается моделирование с применением горно-геологических информационных систем [9; 26] при использовании числовых, геометрических и вариационных параметров элементов горнорудного проекта, а также соотношений между этими параметрами. Для этого создаются 3D цифровые модели объектов горной технологии и укрупненно моделируются технологии добычи и переработки руды. Параметризация позволяет за короткое время «проиграть» (посредством изменения параметров или соотношений) различные варианты и сценарии реализации инвестиционного проекта с достаточной их детализацией, минимизировать факторы неопределенности и избежать принципиальных финансово-экономических ошибок и субъективизма. В сценарном моделировании учитывается влияние различных внешних и внутренних факторов.

Параметрическое моделирование

БД технологического оборудования

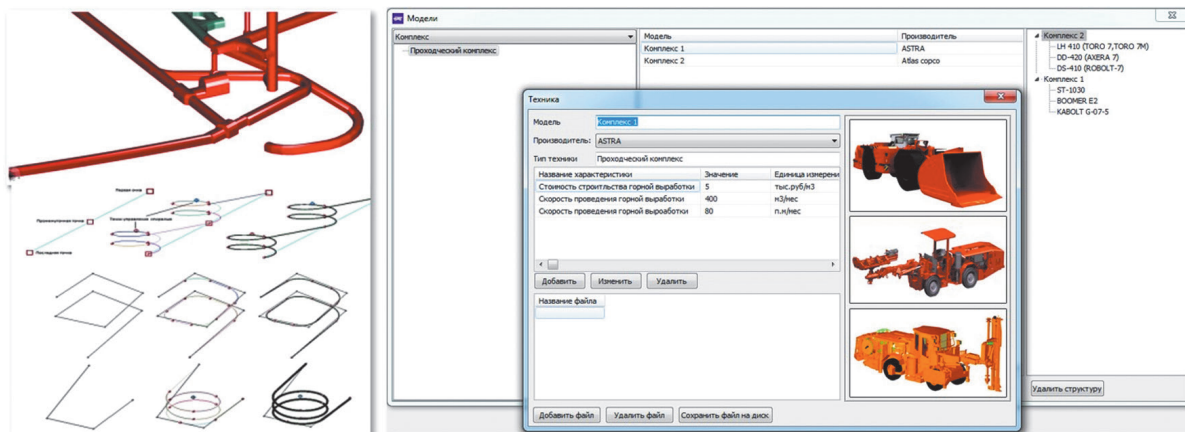


Рис. 4. Инструменты решения технологических задач в ГИС MINEFRAME [9]
 Fig.4. Tools for solving technological problems in MGIS MINEFRAME [9]

5. Проверка выполнения логических условий коммерческой эффективности проекта: $ЧДД > 1$, $ВНД > E$, $ИДД > 1$, $T_{окд} \rightarrow \min$. Предлагается принять, что проект может считаться инвестиционно привлекательным при одновременном достижении всех четырех условий.

6. Результирующая оценка горнорудного проекта: инвестиции эффективны или неэффективны.

Результаты

Для инвестиционной оценки выполнены расчеты результирующих финансовых потоков на основе сценарного моделирования двух горнорудных проектов: базового и созданного с применением цифровых технологий. Графическая иллюстрация результатов сценарного моделирования, выполненная применительно к перспективному Колмозерскому месторождению литиевых руд, позволяющая выполнить сравнительный анализ вариантов, представлена на рис. 5.

Необходимо заметить, что инвестиционная оценка перспективного месторождения находится в коммерческой компетенции потенциального инвестора, поэтому результаты представлены в условных значениях (в рублях условной размерности). Вместе с тем такие показатели рентабельности, как срок окупаемости и индекс доходности дисконтированный, с высокой степенью вероятности близки к реальным значениям.

Из рис. 5. следует, что применение цифровых технологий в перспективной разработке Колмозерского месторождения начнет проявляться примерно с пятого года добычи руды. В итоге срок окупаемости капитальных (инвестиционных) затрат уменьшится с 11,5 до 8,3 лет с последующим наращиванием положительного баланса (например, к 55-му году разработки положительный баланс составит около 500 млн условных рублей). При этом индекс доходности дисконтированный возрастет до 1,83 (значение, близкое к 2).

На основе полученных результатов авторами дана результирующая оценка Колмозерского месторождения литиевых руд: инвестиции эффективны, срок окупаемости составит около 8 лет, ИДД будет не менее 1,8. На основе этих показателей рентабельности (уменьшение срока окупаемости инвестиций и положительный экономический эффект варианта с цифровыми технологиями по сравнению с базовым) с применением предложенного методического подхода аналогично выполнена инвестиционная оценка 13 рассмотренных перспективных месторождений рудного минерального сырья западной части Арктики как горнорудных проектов.

Следует отметить, что в 1997 г. технико-экономическая оценка перспективных месторождений Мурманской области была выполнена Горным институтом КНЦ РАН с участием одного из авторов настоящей статьи. За прошедшее время несколько раз менялись экономические условия, а сегодня фактически рождается новая парадигма глобального экономического развития, поэтому сопоставление результатов данного исследования с предыдущими не только не может быть корректным, но и будет кардинально неверным.

Также в оценку инвестиционной привлекательности авторы не включили месторождения Африкандское и Федорово-Панская тундра, по которым уже приняты положительные инвестиционные решения (ООО «Сервисная горная компания “Аркминерал”» и АО «Федорово Ресорсес» соответственно).

По результатам современной инвестиционной оценки, выполненной с применением цифровых технологий и с учетом возможных цифровых решений, авторы выделили девять месторождений, обладающих инвестиционной привлекательностью в современных экономико-геополитических условиях. Их вовлечение в промышленную эксплуатацию создаст необходимые условия для стимулирования экономического развития западной части российской Арктики (табл. 3). Для инвестиционно

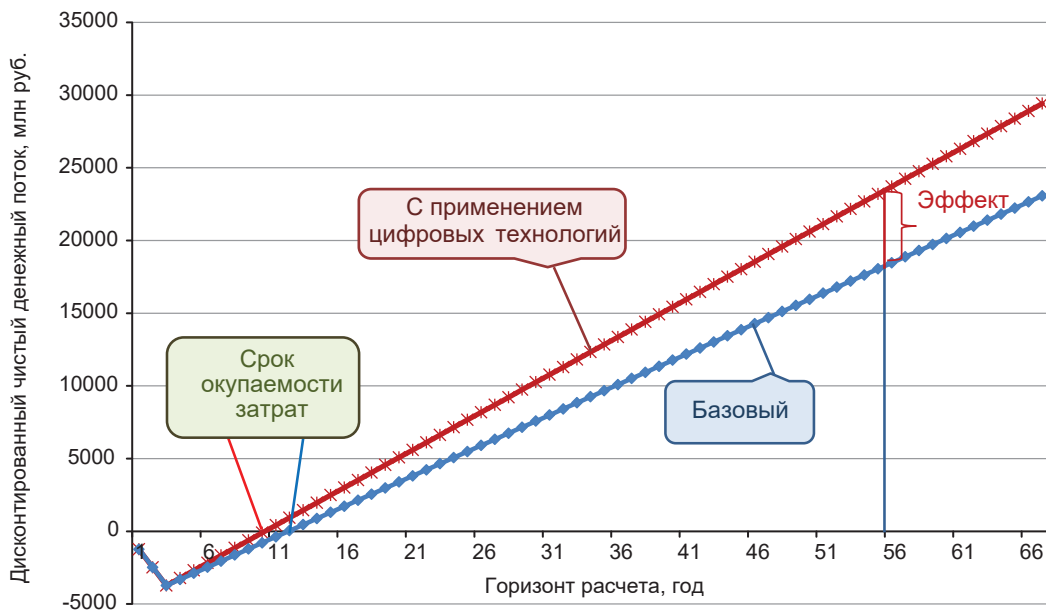


Рис. 5. Сценарное моделирование дисконтированных чистых денежных потоков (в условных значениях) на примере инвестиционной оценки Колмозерского месторождения

Fig 5. Scenario modeling of discounted net cash flows (in conditional values) on the example of an investment assessment of the Kolmozersky deposit

привлекательных месторождений срок окупаемости составляет от 4 до 8 лет, а индекс доходности дисконтированный — от 1,4 до 3. Вместе с тем было определено, что даже с учетом цифровых технологий для месторождений Неске-Вара и Салланлата инвестиции не окупятся.

В табл. 3 месторождения ранжированы по ИДД: от 3 (Аллуйв) до 1,39 (Сопчеозерское). Из нее следует, что выбранные перспективные месторожде-

ния являются многокомпонентными (за исключением Сопчеозерского месторождения хрома), что дает возможность как моно-, так и комплексной их разработки в различных сочетаниях извлекаемых полезных компонентов и производства соответствующего товарного продукта. Вместе с тем по данным таблицы можно сопоставить разные месторождения по видам рудного минерального сырья.

Таблица 3. Инвестиционная оценка перспективных месторождений западной части российской Арктики

Инвестиционный проект месторождения	Полезные компоненты	Район	Запасы, млн т	Срок окупаемости дисконтированный $T_{окд}$, лет	Индекс доходности дисконтированный ИДД
Аллуйв	Эвдиалит, лопарит (тантал, ниобий, РЗЭ, титан)	Ловозерский	13,35	3,8	3,00
Цагинское	Титан, магнетиты, ванадий	Ловозерский	51,10	4,6	2,80
Юго-Восточная Гремяха	Титан, магнетиты	Кольский	87,00	5,2	2,50
Колвицкое	Титан, магнетиты, ванадий	Кандалакшский	98,00	6	2,29
Сахарйонское	Оксиды редких земель, цирконий	Ловозерский	14,10	6	2,12
Колмозерское	Литий, бериллий, тантал, ниобий	Ловозерский	75,00	8,3	1,83

Окончание табл. 3

Инвестиционный проект месторождения	Полезные компоненты	Район	Запасы, млн т	Срок окупаемости дисконтированный $T_{\text{онд}}$, лет	Индекс доходности дисконтированный ИДД
Васин-Мыльк	Цезий, рубидий, литий, тантал	Ловозерский	0,68	5,8	1,57
Полмостундровское	Бериллий, литий, ниобий, тантал	Ловозерский	28,80	8	1,44
Сопчеозерское	Хром	Мончегорский	10,35	7	1,39
Неске-Вара	Ниобий, тантал, магнетиты, апатит	Кандалакшский	95,00	Не окупается	0,20
Салланлатва	Ниобий, магнетиты	Кандалакшский	72,00	Не окупается	0,66

Существенным положительным обстоятельством для всех выбранных месторождений является относительная близость действующих горнорудных и горно-металлургических предприятий. Кроме того, горно-геологические условия практически всех этих месторождений и участков рудного минерального сырья позволяют применить открытый способ разработки [4].

Обсуждение

Для сравнительного анализа полученных результатов на рис. 6 приведены гистограммы по дисконтированному индексу доходности и сроку окупаемости — периоду возврата дисконтированных расходов (инвестиций) для перспективных месторождений, сгруппированных по видам рудного минерального сырья (титан, РЗЭ, литий, ванадий).

Для получения титановой продукции выделены месторождения Цагинское, Юго-Восточная Гремяха и Колвицкое (рис. 6а), которые ранжированы по ИДД: от 2,8 до 2,29. Срок окупаемости инвестиций составит 4,6, 5,2 и 6 лет соответственно.

Для развития предприятий горнорудной промышленности в части редкоземельного производства целесообразно рассмотреть сценарии вовлечения в промышленную эксплуатацию месторождений Аллуйв, Сахарйонское, Васин-Мыльк (рис. 6б). Срок окупаемости капиталовложений в их освоение прогнозируется до 6 лет при индексе доходности от 3 до 1,5 соответственно. К горно-геологическим преимуществам этих месторождений относится близкое расположение к поверхности полезного ископаемого, что позволяет применить более экономически выгодный открытый способ разработки.

Для получения литийсодержащей продукции выделены месторождения Колмозерское, Васин-Мыльк и Полмостундровское (рис. 6в). ИДД для них оценивается существенно выше единицы при сроках окупаемости инвестиций до 8 лет.

Для производства ванадия выделены Цагинское и Колвицкое месторождения (рис. 6г), для которых срок окупаемости инвестиций может составить 5—6 лет при ИДД выше 2.

Для освоения перспективных месторождений, расположенных на относительно удаленных, но неосвоенных территориях, могут быть рассмотрены сценарии с использованием модульного оборудования и вахтового метода. Такие сценарии наиболее применимы на месторождениях Васин-Мыльк, Сахарйок и др.

Выводы

1. Рассмотрены перспективы рудной минерально-сырьевой базы западной части Арктики. Показана коммерческая привлекательность ряда месторождений по видам полезного ископаемого для обеспечения стратегической экономической и оборонной безопасности России.

2. Проанализированы существующие методические подходы к оценке инвестиционных проектов, на основании чего определены их основные недостатки. Обосновано, что на сегодня актуальным и необходимым является учет применения цифровых технологий как в инвестиционной оценке перспективного месторождения, так и в реализации горнорудного проекта вовлечения полезного добываемого компонента в экономический оборот.

3. Выполнена модернизация инвестиционной оценки горнорудных проектов, что позволяет, с одной стороны, учесть потенциал цифрового моделирования горной технологии, созданный в Горном институте КНЦ РАН, с другой — применить современные цифровые технологии при определении показателей инвестиционной привлекательности. Предложенный методический подход базируется на параметрическом и сценарном моделировании, что позволяет минимизировать влияние факторов неопределенности и повысить оперативность оценки инвестиционной привлекательности пер-

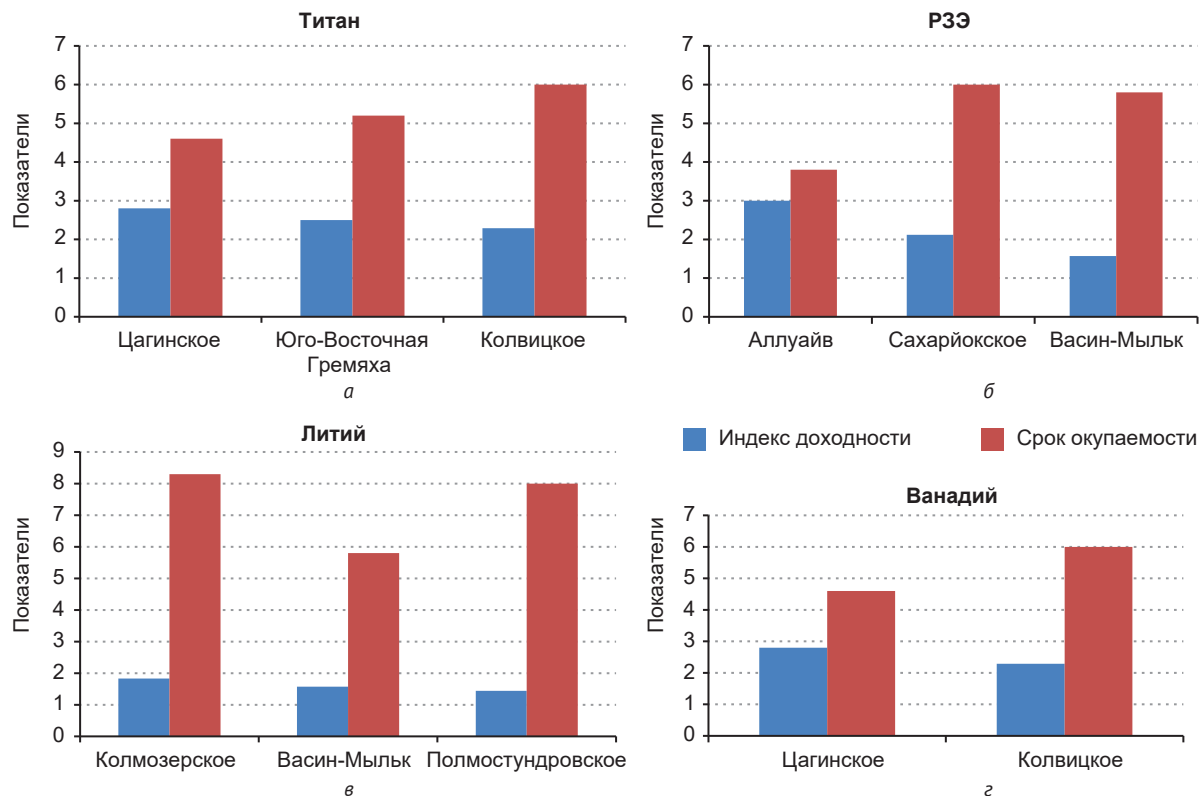


Рис. 6. Инвестиционно привлекательные перспективные месторождения западной части Арктики по видам рудного минерального сырья: а – титан, б – РЗЭ, в – литий, г – ванадий

Fig. 6. Investment-attractive promising deposits of the western part of the Arctic by types of ore mineral raw materials: а – titanium, б – REE, в – lithium, г – vanadium

спективных рудных месторождений. Предложен алгоритм практической реализации инвестиционной оценки горнорудных проектов западной части Арктики.

4. На основе предложенного методического подхода выполнена укрупненная инвестиционная оценка 13 перспективных месторождений западной части Арктики как горнорудных проектов и из них отобраны 9 наиболее инвестиционно привлекательных. Предложены сценарии вовлечения в экономический оборот инвестиционно привлекательных месторождений по видам минерального сырья (титан, редкоземельные элементы, литий, ванадий).

Литература

1. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 1 (17). — С. 38—46.
2. Костюченко С. Л. Стратегия освоения минеральных ресурсов российской Арктики // Минер. ресурсы России. Экономика и управление. — 2017. — № 1. — С. 3—12.
3. Машковцев Г. А., Спорыхина Л. В., Быховский Л. З. Состояние, перспективы использования и развития сырьевой базы твердых полезных ископаемых Арктической зоны России // Минер. ресурсы

России. Экономика и управление. — 2019. — № 3 (166). — С. 34—45.

4. Лукичев С. В., Жиров Д. В., Чуркин О. Е. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса Мурманской области // Гор. журн. — 2019. — № 6. — С. 19—24. — DOI: 10.17580/gzh.2019.06.01.
5. Melnikov N., Giliarova A., Kalashnik A., Churkin O. Methodical approaches for feasibility study of potential development of arctic mineral deposits // 17th International multidisciplinary scientific Geoconferencе SGEM 2017: Conference proceedings. — [S. l.], 2017. — P. 549—554.
6. Сайт Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых. — URL: <https://gkz-rf.ru/>.
7. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» / М-во природ. ресурсов и экологии Рос. Федерации. Федер. агентство по недропользованию (Роснедра). — М., 2021. — 572 с.
8. Чуркин О. Е., Гилярова А. А. База данных перспективных минеральных ресурсов Мурманской области как основа цифровой платформы для оценки инвестиционной привлекательности их освоения // Гор. информ.-аналит. бюл. — 2019. — № 37. — С. 300—308. — DOI: 10.25018/0236--0450-2019.

9. Лукичев С. В. Цифровое прошлое, настоящее и будущее горнодобывающих предприятий // Гор. пром-сть. — 2021. — № 4. — С. 73—79. — DOI: 10.30686/1609-9192-2021-4-73-79.
10. Цифровая Россия: новая реальность. 2017. — URL: <http://www.mckinsey.com/global-locations/europe-and-middleeast/Russia/ru/our-work/McKinney-digital/>.
11. Лукичев С. В., Наговицын О. В., Ильин Е. А., Рудин Р. С. Цифровые технологии инженерного обеспечения горных работ — первый шаг к созданию «умного» добычного производства // Гор. журн. — 2018. — № 7. — С. 86—90. — DOI: 10.17580/gzh.2018.07.17.
12. Цифровизация угля и металла. — URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4103010/>.
13. Бурукина А. А. Методы и модели оценки эффективности проекта // Актуал. исслед. — 2020. — № 8 (11). — С. 107—110.
14. Дамодаран А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов / Пер. с англ. — М.: Альпина Паблшер, 2019. — 1316 с.
15. Мальцев А. С. Численные методы анализа ставки дисконтирования // Рынок цен. бумаг. — 2005. — № 10 (289). — С. 62—65.
16. International Valuation Standarts (IVS). Effective 31 January 2020 / Intern. Valuation Standards Council. — Norwich: Page Bros. — 2020. — 138 p.
17. Nunes C., Pimentel R. Analytical solution for an investment problem under uncertainties with shocks // European J. of Operational Research. — 2017. — Vol. 259 (3). — P. 1054—1063. — DOI: 10.1016/j.ejor.2017.01.008.
18. Behrens W., Hawranek P. M. Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies: Newly revised and expanded ed. — Vienna: UNIDO, 1991. — 404 p.
19. Guide to Cost-Benefit Analysis is of Investment Projects / European Commission. December 2014. — URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf.
20. Коссов В. В., Лившиц В. Н., Шахназаров А. Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — М.: Экономика-2000, 2000. — 421 с.
21. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). — М.: ГКЗ, 2007. — 49 с.
22. Digital Strategy 2025 / Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. — URL: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/EN/Publikation/digital-strategy2025.pdf>.
23. Digital Transformation is More than Just Automation. — URL: <https://agreementexpress.com/digital-transformation-is-more-than-just-automation>.
24. Revitalizing Japan by Realizing Society 5.0: Action Plan for Creating the Society of the Future. Overview. — URL: http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2017/010_overview.pdf.
25. Worldwide Spending on Digital Transformation Will Be Nearly \$2 Trillion in 2022 as Organizations Commit to DX, According to a New IDC Spending Guide / Intern. Data Corporation. — URL: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44440318>.
26. Гилярова А. А. Горнорудная промышленность: подходы к экономическому учету современных геотехнологий и инноваций // Север и рынок: формирование экон. порядка. — 2020. — № 1 (67). — № 6. — С. 117—126. — DOI: 10.37614/2220-802X.1.2020.67.01.
27. Marklund S. The comparison of automatic and manual Loading in an underground mining environment / Luleå Univ. of Technology. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. — Luleå, 2017. — 70 p.

Информация об авторах

Лукичев Сергей Вячеславович, доктор технических наук, директор, Горный институт Кольского научного центра РАН (184200, Россия, Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24), e-mail: s.lukichev@ksc.ru.

Наговицын Олег Владимирович, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе, Горный институт Кольского научного центра РАН (184200, Россия, Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24), e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru.

Чуркин Олег Елиферович, кандидат технических наук, ученый секретарь, Горный институт Кольского научного центра РАН (184200, Россия, Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24), e-mail: o.churkin@ksc.ru.

Гилярова Ася Анатольевна, кандидат экономических наук, научный сотрудник, Горный институт Кольского научного центра РАН (184200, Россия, Апатиты, ул. Ферсмана, д. 24), e-mail: a.gilyarova@ksc.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Лукичев С. В., Наговицын О. В., Чуркин О. Е., Гилярова А. А. Применение цифровых технологий для инвестиционной оценки горнорудных проектов западной части Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 4. — С. 524—537. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-524-537.

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR INVESTMENT EVALUATION OF MINING PROJECTS IN THE WESTERN PART OF THE ARCTIC

Lukichev, S. V., Nagovitsyn, O. V., Churkin, O. E., Gilyarova, A. A.

Mining Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences (Apatity, Russian Federation)

The article was received on May 3, 2022

Abstract

The authors consider the mining-geological and technical-economic conditions of promising ore deposits in the Western part of the Arctic of the Russian Federation and analyze the existing methods for evaluating investment projects. They have revealed that the methods do not take into account the intensive introduction of digital technologies, automation and robotization of machines and equipment into the mining industry. The authors substantiate the necessity of using digital technologies in the investment appraisal of mining projects. The study objective is the developing of an improved method for investment appraisal in the Western Arctic mining projects. The authors suggest a methodical approach based on parametric and scenario modeling, which allows minimizing the influence of uncertainty factors and increasing the efficiency of decision-making. Thus, for the practical implementation of the approach in the investment appraisal of mining projects, taking into account digital technologies, they propose an algorithm that includes six effective steps. A distinctive feature of the approach is the use of methods for modeling mining equipment objects. The mining and geological information system MINEFRAME, created at the Mining Institute of the KSC RAS, has the necessary functionality. An investment appraisal of 13 promising deposits as mining projects is completed. The authors select nine (9) deposits that best meet the criteria of economic feasibility. Types of ore minerals: titanium, rare earth elements, lithium, vanadium group the selected deposits and ranked according to investment evaluation indicators. The authors propose economically justified and effective scenarios for involving investment-attractive deposits in the economic turnover. Both the integration of mining projects into closely located mining enterprises and their autonomous development are envisaged.

Keywords: *promising deposits, investment appraisal, digital technologies, mining project, Western part of the Arctic.*

References

1. Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V., Galyamov A. L., Murashov K. Yu. Arctic resources of non-ferrous and noble metals in the global perspective. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: ecology and economy], 2015, no. 1 (17), pp. 38—46. (In Russian).
2. Kostyuchenko S. L. Strategy for the Development of Mineral Resources of the Russian Arctic. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2017, no. 1, pp. 3—12. (In Russian).
3. Mashkovtsev G. A., Sporykhina L. V., Byhovskii L. Z. The state, prospects for the use and development of the raw material base of solid minerals in the Arctic zone of Russia. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2019, no. 3 (166), pp. 34—45. (In Russian).
4. Lukichev S. V., Zhiron D. V., Churkin O. E. The state and prospects for the development of the mineral resource complex of the Murmansk region. *Gornyi zhurnal*, 2019, no. 6, pp. 19—24. DOI: 10.17580/gzh.2019.06.01. (In Russian).
5. Melnikov N., Giliarova A., Kalashnik A., Churkin O. Methodical approaches for feasibility study of potential development of arctic mineral deposits. 17th International multidisciplinary scientific Geoconference SGEM 2017. Conference proceedings, 2017, pp. 549—554.
6. Official website of the Federal Budgetary Institution State Commission on Mineral Reserves. Available at: <https://gkz-rf.ru/>. (In Russian).
7. State Report "On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020". Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. Federal Agency for Subsoil Use. Moscow, 2021, 572 p. (In Russian).
8. Churkin O. E., Gilyarova A. A. Database of promising mineral resources of the Murmansk region as the basis of a digital platform for assessing the investment attractiveness of their development. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2019, no. 37, pp. 300—308. DOI: 10.25018/0236--0450-2019. (In Russian).
9. Lukichev S. V. Digital Past, Present and Future of Mining. *Gornaya promyshlennost'*, 2021, no. 4, pp. 73—79. DOI:10.30686/1609-9192-2021-4-73-79. (In Russian).
10. Digital Russia: a new reality. 2017. Available at: <http://www.mckinsey.com/global-locations/europe-and-middleeast/Russia/ru/our-work/McKinney-digital/>. (In Russian).
11. Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V., Il'in E. A., Rudin R. S. Digital mining engineering is the first step towards

- smart mining. *Gornyi zhurnal*, 2018, no. 7, pp. 86—90. DOI:10.17580/gzh.2018.07.17. (In Russian).
12. Digitalization of coal and metal. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/4103010/>. (In Russian).
13. *Burukina A. A.* Methods and models for Evaluating Project Performance. *Aktual'nye issledovaniya*, 2020, no. 8 (11), pp. 107—110. (In Russian).
14. *Damodaran A.* Investment valuation. Instruments and techniques for the valuation of any assets. Moscow, Al'pina Publisher, 2019, 1316 p. (In Russian).
15. *Mal'tsev A. S.* Numerical methods of discount rate analysis. *Rynok tsennykh bumag*, 2005, no. 10 (289), pp. 62—65. (In Russian).
16. International Valuation Standarts (IVS). Effective 31 January 2020. Intern. Valuation Standards Council. Norwich, Page Bros, 2020, 138 p.
17. *Nunes C., Pimentel R.* Analytical solution for an investment problem under uncertainties with shocks. *European J. of Operational Research*, 2017, vol. 259 (3), pp. 1054—1063. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.01.008.
18. *Behrens W., Hawranek P. M.* Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies. Newly revised and expanded ed. Vienna, UNIDO, 1991, 404 p.
19. Guide to Cost-Benefit Analysis is of Investment Projects. European Commission. December 2014. Available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/cba_guide.pdf.
20. *Kossov V. V., Livshits V. N., Shakhnazarov A. G.* Guidelines for Assessing the Effectiveness of Investment Projects. Moscow, *Ekonomika-2000*, 2000, 421 p. (In Russian).
21. Methodological Recommendations for Feasibility Study of Conditions for Estimation of Reserves of Solid Mineral Deposits (except Coal and Oil Shale). Moscow, GKZ, 2007, 49 p. (In Russian).
22. Digital Strategy 2025. Available at: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Available at: <https://www.de.digital/DIGITAL/Redaktion/EN/Publikation/digital-strategy2025.pdf>.
23. Digital Transformation is More than Just Automation. Agreement Express. Available at: <https://agreementexpress.com/digital-transformation-is-more-than-just-automation>.
24. Revitalizing Japan by Realizing Society 5.0: Action Plan for Creating the Society of the Future. Overview. Available at: http://www.keidanren.or.jp/en/policy/2017/010_overview.pdf.
25. Worldwide Spending on Digital Transformation Will Be Nearly \$2 Trillion in 2022 as Organizations Commit to DX, According to a New IDC Spending Guide. International Data Corporation. Available at: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44440318>.
26. *Gilyarova A. A.* Mining industry: approaches to economic accounting of modern geotechnologies and innovations. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka*, 2020, no. 1 (67), no. 6, pp. 117—126. DOI: 10.37614/2220-802X.1.2020.67.01. (In Russian).
27. *Marklund S.* The comparison of automatic and manual Loading in an underground mining environment. Luleå University of Technology. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. Luleå, 2017, 70 p.

Information about the authors

Lukichev, Sergey Vyacheslavovich, Doctor of Engineering Science, Director, Mining Institute KSC RAS (24, Fersman St., Apatity, Russia, 184200), e-mail: s.lukichev@ksc.ru.

Nagovitsyn, Oleg Vladimirovich, Doctor of Engineering Science, Vice Director for Sciences, Mining Institute KSC RAS (24, Fersman St., Apatity, Russia, 184200), e-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru.

Churkin, Oleg Eliferovich, PhD of Engineering Science, Academic Secretary, Mining Institute KSC RAS (24, Fersman St., Apatity, Russia, 184200), e-mail: o.churkin@ksc.ru.

Gilyarova, Asya Anatolyevna, PhD of Economy, Researcher, Mining Institute KSC RAS (24, Fersman St., Apatity, Russia, 184200), e-mail: a.gilyarova@ksc.ru.

Bibliographic description of the article

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. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: ecology and economy], 2022, vol. 12, no. 4, pp. 524—537. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-524-537.

© Lukichev S. V., Nagovitsyn O. V., Churkin O. E., Gilyarova A. A., 2022