

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

ЧЖАН ЧИ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В НЕСТАБИЛЬНОЙ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ**

Специальность 5.2.3 - Региональная и отраслевая экономика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата экономических наук

Научный руководитель

доктор экономических наук, профессор

Мясков Александр Викторович

Москва–2024

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Одной из основных причин нестабильности в экономике является глобализация, которая создала сложную и взаимозависимую систему, где изменения на одном рынке могут вызвать существенные последствия для других рынков и затрудняют прогноз будущего состояния экономики. Второй причиной является постоянно меняющаяся международная обстановка, создающая дополнительные факторы риска и неопределенности, а также непредсказуемые последствия для экономики, что формирует дополнительные проблемы для бизнеса и инвесторов. Третьей причиной является скорость научно-технического прогресса, т.к. новые технологии могут достаточно быстро изменить способы производства и потребления, что служит причиной нестабильности на рынке труда. Кроме того, бурное развитие цифровых технологий может привести к возникновению новых угроз безопасности данных и кибератак. Поэтому в условиях нестабильной экономической среды так важно разработать стратегии эффективного функционирования отраслей и предприятий.

Все вышеперечисленные факторы в полной мере относятся к экономике такой отрасли как золотодобыча, уровень развития которой является одним из наиболее важных показателей национального экономического роста. Золотой запас позволяет государству диверсифицировать свои резервы и снизить зависимость от иностранных валют. Также драгоценный металл позволяет обеспечивать кредиты и защищать экономику от инфляции. Другими словами, золотой запас позволяет сделать экономические отношения более устойчивыми при волатильности на мировых и локальных рынках и делает курс национальной валюты более стабильным и независимым.

Из вышеизложенного следует, что эффективное функционирование золотодобывающих предприятий определяется, в первую очередь, состоянием сырьевой базы, которую можно характеризовать степенью обеспеченности добычи балансовыми запасами. Устойчивое развитие золотодобывающего предприятия обеспечивает рациональную разработку и комплексное использование золотосодержащего сырья, стабильный рост экономической выгоды, минимизацию ущерба окружающей среде, повышение уровня социальной защищенности работников.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 16 января 1996 г. № 50-р золото причислено к стратегическим видам полезных ископаемых, имеющих особое значение для развития экономики, пополнения государственного бюджета, формирования золотовалютных резервов страны.

Согласно утвержденной Правительством Российской Федерации в 2018 г. Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. золото, также как и серебро, медь, свинец, цинк, отнесено ко второй группе полезных ископаемых, достигнутые уровни добычи которого недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 года. Только вовлечение в отработку труднодоступных запасов неразрабатываемых месторождений благородных

металлов позволит и в будущем удержать достигнутый уровень добычи в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

На фоне глобальной экономической нестабильности и роста геополитических рисков, свойства золота по сохранению стоимости становятся все более заметными. Высокий рыночный спрос на драгоценные металлы делает важным не только выявление новых, в том числе и нетрадиционных, для золотодобывающей промышленности источников этих видов минерального сырья, но и анализ, и оценку перспектив эффективного функционирования конкретных предприятий и отрасли в целом, исходя из запасов разрабатываемых месторождений, цен на золото, инвестиций в геологоразведочные работы, применения новых технологий добычи, степени загрязнения окружающей среды при разработке и других факторов.

Недостаточная проработанность экономического инструментария и методических подходов к реализации концепции эффективного функционирования золотодобывающих предприятий в лабильной экономической среде определили актуальность и обусловили выбор темы исследования.

Степень разработанности проблемы. Теоретические и методологические основы устойчивого развития при различных способах организации и ведения хозяйственной деятельности разрабатывались рядом отечественных и зарубежных ученых, в т.ч. А. Абросимовым, А. Аткиссоном, А. Барановым, Г.Х. Брундтландом, Дж. Форрестера, Т. Важениным, Д. Медоузом, А. Кочневым, О. Лавриченко, В. Маевским, Д. Медоуза, Д. Наклоновым, М. Пименовым, А. Ракитовым А., Т. Семеновой, Т. Ускова, Л. Вальрасом, Дж.Р. Хиксом, П. Самуэльсоном, А. Вальдом, Й. Шумпетером, Д. Беллом, Р. Харродом, Дж. Кейнсом, Р. Нельсоном, С. Уинтером, Дж. Стиглицем, Х. Такеучи, Р. Солоу. К последнему времени относятся исследования, связанные с изучением проблем управления устойчивого развития предприятий недропользования. В числе исследователей - А.Э. Абалов, В.П. Бауэр, Н.В. Галкина, Б.И. Беневольский, С.М. Борисов, В.Т. Борисович, Г.Ю. Боярко, В.Н. Брайко, Э.А. Гараев, Д.С. Горчакова, А.В. Душин, М.П. Казимиров, А.В. Каплан, В.А. Косьянов, С.Г. Кашуба, И.А. Кремнева, Д.С. Кондоурова, Л.А. Костыгова, М.Г. Лапуста, О.В. Лускатова, Н.М. Макаров, Н.Н. Малашихина, С.А. Мясоедов, З.М. Назарова, А.А. Петросов, Л.М. Прокофьева, С.М. Попов, М.А. Рогов, Н.В. Соловьев, Б.В. Хакимов, В.А. Харченко, Ю.Н. Шедько, М.А. Ястребинский.

Однако по-прежнему остаются актуальными вопросы, требующие дальнейших исследований; к ним относятся: научно обоснованный выбор факторов, оказывающих наибольшее влияние на экономические результаты производственного цикла по добыче и переработке добываемого из недр золотосодержащего сырья в лабильной среде, разработка методического инструментария для определения результирующего показателя эффективности развития на уровне предприятия и другие. Это предопределило выбор темы, цели и задач исследования.

Объектом исследования являются золотодобывающие предприятия Российской Федерации и Китая, рассматриваемые как сложные производственные и социально-экономические системы, функционирующие во взаимосвязи и взаимодействии основных элементов и процессов.

Предметом исследования служат основные процессы и факторы, влияющие на эффективность функционирования предприятий золотодобывающей отрасли, действующих в условиях нестабильности экономической среды и недостаточной обеспеченности достигнутых уровней добычи разведанными запасами.

Цель диссертационной работы состоит в формировании экономического механизма анализа и оценки факторов, влияющих на эффективное развитие золотодобывающих предприятий в условиях нестабильности макроэкономической среды и снижения запасов разрабатываемых золоторудных месторождений.

Идея работы заключается в использовании объективных научных методов оценки факторов, определяющих траекторию эффективного развития золотодобывающих предприятий, и формирования концептуальной модели прогнозирования добычи золота на основе нейронных сетей.

Основные задачи диссертационной работы обусловлены целью исследования и заключаются в следующем:

- 1) выявлении и анализе особенностей функционирования золотодобывающих предприятий России и Китая и исследовании основных проблем их развития в нестабильной экономической среде;
- 2) обосновании критериев и принципов устойчивого развития золотодобывающих предприятий;
- 3) анализе обеспеченности добычи золота разведанными запасами, являющимися важнейшим показателем с точки зрения устойчивого развития;
- 4) проведении количественного анализа факторов, влияющих на добычу золота на базе расчета энтропийного веса и корреляционного анализа;
- 5) разработке модели прогнозирования добычи золота в условиях нестабильного состояния экономической среды и сырьевой базы на основе применения нейронных сетей;
- 6) построении алгоритма оценки уровня эффективности функционирования российских и китайских золотодобывающих предприятий на основе комплексного интегрального показателя.

Область исследования соответствует паспорту ВАК России по специальности 5.2.3 - Региональная и отраслевая экономика, а именно пп. 2.2 - «Вопросы оценки и повышения эффективности хозяйственной деятельности на предприятиях и в отраслях промышленности», а также 2.11. - «Формирование механизмов устойчивого развития экономики промышленных отраслей, комплексов, предприятий».

Теоретико-методологическую основу исследования составили научные труды отечественных и зарубежных ученых в области экономики

устойчивого развития, включая формирование инструментария оценки уровня развития, результаты общенаучных исследований процессов, направленных на экономический рост, повышение эффективности функционирования предприятий золотодобывающей отрасли. В процессе исследования применялись общенаучные методы: диалектический, абстрактно-логический, а также методы сравнительного анализа, группировок, аналогий, экспертного анализа, которые в совокупности и обеспечили достоверность и корректность выводов.

Информационную базу исследования составили методические, информационно-аналитические и статистические материалы Правительства Российской Федерации (РФ), Государственного баланса запасов полезных ископаемых Российской Федерации (ГБЗ РФ), Министерства экономического развития РФ, Министерства экономического развития КНР, Национальное бюро статистики КНР, Федеральной службы государственной статистики РФ, субъектов РФ, российских и зарубежных информационных агентств, публикации в ведущих профильных журналах, а также научная литература ведущих российских, советских и зарубежных ученых, в области теории и практики устойчивого развития, собственные исследования автора.

Научные положения, выносимые на защиту:

- Количественную оценку факторов, определяющих уровень эффективности функционирования золотодобывающего предприятия, предложено осуществлять на основе комбинирования методов энтропийного веса, дающего возможность анализировать важность каждого показателя, и корреляционного анализа, определяющего взаимосвязь между индикаторами зависимых и независимых переменных, влияющих на развитие экономики предприятия на различных стадиях его производственно-хозяйственной деятельности.
- Рациональное планирование объемов добычи и выявление объективных тенденций развития золотодобывающих предприятий в нестабильной экономической среде следует производить на основе применения разработанной эконометрической модели прогнозирования основных показателей их производственной деятельности, одновременно использующего преимущества нечеткой логики и нейронных сетей.
- Оценка уровня эффективности функционирования золотодобывающего предприятия должна базироваться на разработанном алгоритме, сформированном на основе современных подходов в сферах «Экономика», «Технологии», «Экология» и «Социальная среда», что позволяет объединить отдельные значения влияющих факторов в общий интегральный показатель, значение которого определяет не только уровень развития, но направления деятельности, где компания отстает от конкурентов.

Научная новизна результатов исследования состоит в разработке методического аппарата оценки эффективности функционирования золотодобывающих предприятий в нестабильных экономических условиях:

- впервые количественную оценку степени влияния внешних и внутренних факторов на результаты освоения золоторудных месторождений

предложено осуществлять на основе комбинирования метода энтропийного веса, являющегося объективным методом взвешивания с высокой достоверностью, и корреляционного анализа;

- разработана эконометрическая модель прогнозирования основных показателей производственной деятельности золотодобывающих предприятий, позволяющая одновременно использовать преимущества нечеткой логики и нейронных сетей для повышения достоверности результатов в среднесрочной перспективе.

- сформирован алгоритм интегральной оценки эффективности функционирования золотодобывающего предприятия, основанный на обобщении экономических, технологических, экологических и социальных показателей производства, включенных в разработанную систему учета их значимости, что позволяет принимать объективные решения по оптимизации разработки и комплексному использованию золотосодержащего сырья,

Обоснованность и достоверность получения результатов и выводов подтверждена достаточностью актуальных данных первоисточников, корректностью их обработки, применением современных методов исследования, положительной апробацией результатов работы.

Теоретическая значимость исследования заключается в исследовании и выявлении закономерностей влияния факторов, определяющих траекторию развития золотодобывающих предприятий в нестабильной экономической среде, для формирования концептуальной модели прогнозирования добычи золота с использованием преимущества нечеткой логики и нейронных сетей.

Практическая значимость исследования. Разработанный в рамках исследования методический инструментарий позволит бизнесу и экспертным органам государства повысить объективность прогнозных оценок, в частности, объемов производства золота, и может быть полезен при формировании концепции устойчивого развития предприятий золотодобывающей отрасли и других металл добывающих отраслей страны.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и получили положительную оценку на международных научно-практических конференциях (ИПКОН РАН, Москва, 2021; ЦНИГРИ Москва 2021; МГРИ, Москва, 2021 и 2022; Санкт-Петербург, 2021; МИСИС, Москва, 2024); международном научном симпозиуме имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2021 г.; всероссийских национальных научно-практических конференциях (РУДН, Москва, 2020; МНЦП Новая наука, Петрозаводск, 2020; АмГПУ, Комсомольск-на-Амуре, 2020).

Публикации. Основные положения диссертационного исследования отражены в 10 научных работах, в том числе в 8 статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК России.

Структура, объем и содержание исследования. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 209 наименований и 3 приложений, включает 37 таблиц и 41 рисунок.

Основное содержание работы

1. Количественную оценку факторов, определяющих уровень эффективности функционирования золотодобывающего предприятия, предложено осуществлять на основе комбинирования методов энтропийного веса, дающего возможность анализировать важность каждого показателя, и корреляционного анализа, определяющего взаимосвязь между индикаторами зависимых и независимых переменных, влияющих на развитие экономики предприятия на различных стадиях его производственно-хозяйственной деятельности

Нестабильность рыночной экономики является следствием инерционности экономической системы, неспособностью вовремя приспособиться к изменениям во внешних сферах экономической деятельности, нестабильности цен, инфляции, дорогостоящих кредитов, сложности технического перевооружения и во многом влияет на независимую экономическую политику страны.

Совмещение золотом товарных и валютных качеств — главное его преимущество, позволяющее использовать этот драгоценный металл в качестве универсального платежного средства всем участникам рынка. Наличие большого золотого запаса ассоциируется с экономической независимостью государства. Поэтому эффективное функционирование золотодобывающих предприятий, на основе применения новых технологий, таких как: автоматизация, интегрированные платформы, IoT, инструменты моделирования и визуализации, расширенная аналитика, удаленные операционные центры, подключенный работник и кибербезопасность, обеспечивает более стабильное состояние и всей экономики страны.

Россия - большая страна с богатыми золотыми минеральными ресурсами, выявленные запасы этих ресурсов в России достигли 15 319,9 т. Китай также богат минеральными ресурсами золота, выявленные запасы ресурсов превышают 11 563,5 т, а базовые запасы составляют 1 986,7 т, что составляет примерно 3,6% мировых запасов. Также Россия и Китай обладают полным производственным циклом переработки добываемого из недр золотосодержащего минерального сырья: от золотосодержащих концентратов и сплавов до аффинированного металла, из которого выпускаются изделия из золота.

Прогнозирование показателей по запасам разрабатываемых месторождений, спросу и предложению золота целесообразно осуществлять на основе применения метода аппроксимации по рассеянным точкам, позволяющим определить оптимальную траекторию развития производства.

В процессе исследования установлено, что обеспеченность месторождений запасами золота наиболее важный индикатор стабильности работы предприятия. Проведен сравнительный анализ обеспеченности балансовыми запасами золотосодержащего сырья ведущих компаний России и Китая, который выявил разнонаправленность тенденций в 2007-2021 гг. Если в Китае обеспеченность запасами в 2021 г. выросла и достигла 43 лет по

сравнению с 20,5 годами в 2007 г., то в России данный показатель наоборот снизился с 51,1 лет (2007 г.) до 35,4 лет в 2021 г.

Это подтверждают и следующие данные:

по ПАО «Полюс» растущие в последние годы объемы добычи не обеспечены соответствующим приростом запасов разрабатываемых золоторудных месторождений, обеспеченность запасами за период 2009-2022 гг. снизилась с 55,3 до 17,5 лет. (рис. 1);

с 2018 по 2022 год производство золота компанией «Цзыджин Майнинг» увеличилось и обеспеченность запасами, в целом, демонстрирует тенденцию к росту (рис. 2).

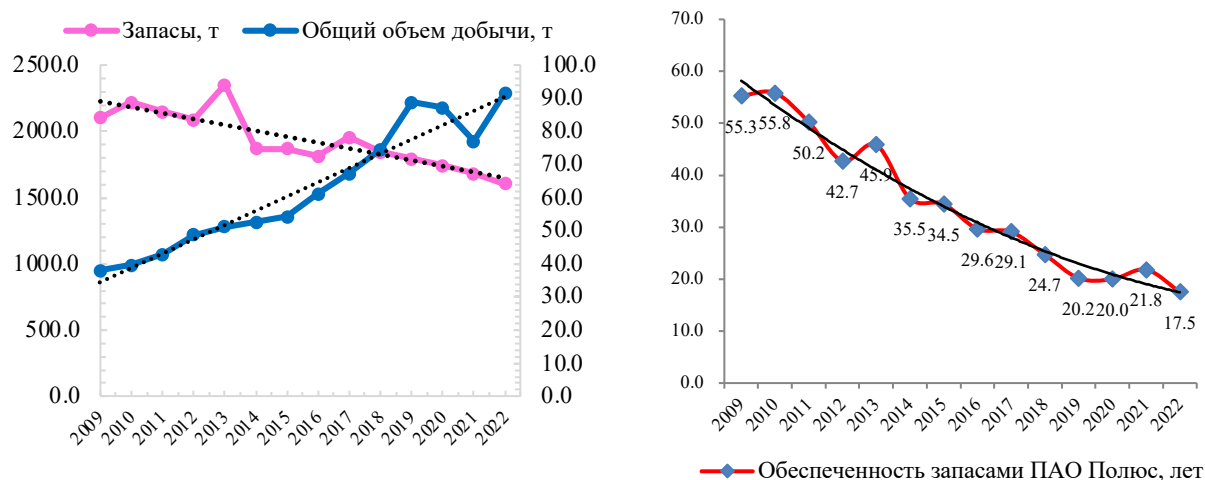


Рисунок 1 – Динамика обеспеченности балансовыми запасами золота ПАО «Полюс» (составлено автором)

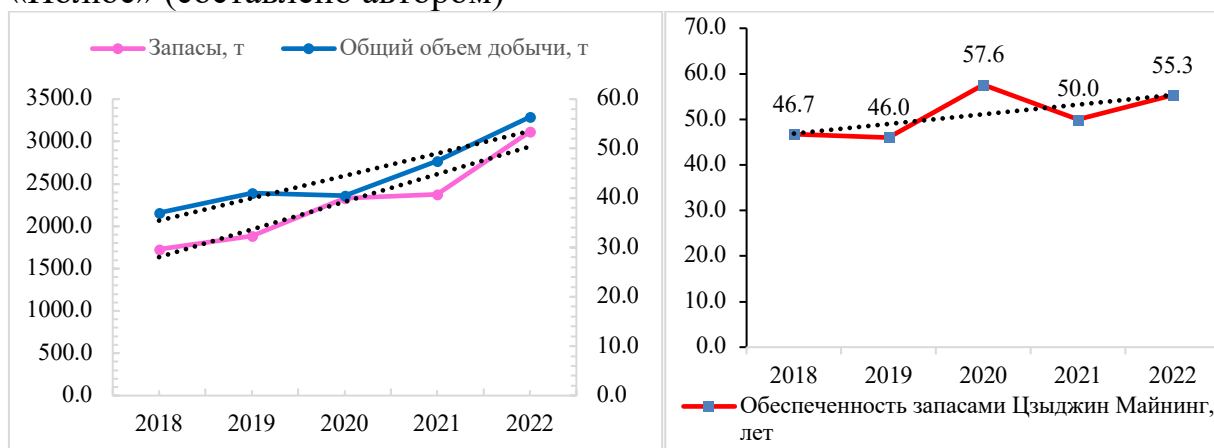


Рисунок 2 – Динамика обеспеченности балансовыми запасами золота «Цзыджин Майнинг» (составлено автором)

Для эффективного функционирования золотодобывающей компании необходимо меняться, анализировать факторы влияния на устойчивое развитие, адаптироваться и внедрять инновации, чтобы оставаться конкурентоспособными и экономически жизнеспособными в будущем. Устойчивое развитие золотодобывающих предприятий определяется, в первую очередь, состоянием сырьевой базы, которую можно характеризовать степенью обеспеченности добычи балансовыми запасами. Также в своей деятельности предприятие должно постоянно производить оценку

экономической ценности добываемого из недр минерального сырья; минимизацию возможных потерь минерального сырья; разумное распределение ресурсов для их эффективного использования и получения максимальной экономической выгоды.

В практике прогнозирования показателей развития экономики золотодобывающих организаций на различных стадиях производственно-хозяйственной деятельности нашла широкое применение регрессионная многофакторная модель. Данного вида модель дает возможность проведения мониторинга экономической обоснованности включения факторов, которые влияют прямо или косвенно на прогнозируемые результаты работы объекта в условиях нестабильной экономической среды.

Анализ реализуемых программ развития российских и зарубежных предприятий золотодобывающей промышленности позволил определить основные критерии стабильного функционирования золотодобывающих компаний по группам:

«Достаточная сырьевая база», «Эффективность экономического развития» (экономика),

«Эффективность технологического развития» (технологии),

«Обеспечение социальной защищенности» (социальная среда),

«Экологическая защищенность» (экология).

Требуемые значения показателей, в основном, взяты из Обзоров золотодобывающей отрасли России, публикуемых ежегодно Союзом золотопромышленников России; Государственных докладов о состоянии и использовании МСБ РФ, подготовленных ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ЦНИГРИ», ФГБУ «ВНИГНИ»; Национального бюро статистики Nexun Gold; Китайской ассоциацией производителей цветных металлов и Китайской ассоциацией по золоту.

Оценка основных факторов и индикаторов, определяющих устойчивое развитие золотодобывающих предприятий, осуществлялась на следующих принципах: научная системность, комплексность, осуществимость, принцип динамичности и принцип репрезентативности. По результатам скрининга строится система в отношении 12 наиболее существенных индикаторов, влияющих на добычу и производство золота.

Количественную оценку факторов, определяющих устойчивость функционирования золотодобывающего предприятия, и их взаимовлияние предложено осуществлять на основе комбинирования метода энтропийного веса, являющегося объективным методом взвешивания с высокой достоверностью и корреляционного анализа. В качестве зависимого переменного показателя использования золотых минеральных ресурсов используется показатель добычи золота.

Метод энтропийного взвешивания, базирующийся на теории нечетких множеств, в основном, включает следующие четыре шага.

Первый шаг: Нормализация необработанных данных.

Данная процедура проводится для показателей, способствующих росту устойчивости по формуле 1, способствующих снижению устойчивости предприятия – по формуле 2.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j \{x_{ij}\}}{\max_j \{x_{ij}\} - \min_j \{x_{ij}\}} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_j \{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max_j \{x_{ij}\} - \min_j \{x_{ij}\}} \quad (2)$$

Второй шаг: Используется метод удельного веса для расчета оценочного значения P_{ij} .

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Третий шаг: Рассчитывается выходная энтропия E и коэффициент разности G_j -го индекса.

$$E_j = -k \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, j = 1, 2, \dots, n, \text{ где } k = \frac{1}{\ln m}$$

$$G_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Четвертый шаг: Рассчитывается вес каждого индикатора.

$$W_j = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^n G_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

В таблицах 1 и 2 представлены коэффициенты энтропийного веса по оцениваемым 12 индикаторам производственной деятельности золотодобывающих компаний ПАО «Полюс» и «Цзыджин Майнинг», соответственно, показана степень важности каждого показателя.

Совокупный индекс W_j составляет 1,000.

Таблица 1

Результаты расчета энтропийного веса по оцениваемым показателям компании ПАО «Полюс»

	Запасы золота	Мировой спрос на золото	Мировая цена золота	Внутренняя цена золота	Инвестиции и в геолого-разведочные работы	Капитальные затраты	Инвестиции на охрану окружающей среды	Инвестиции в социальные проекты	Общий объем добычи золота	Себестоимость добычи	Выручка от реализации	Коэффициент извлечения
E_j	0.970	1.000	0.975	0.951	0.890	0.954	0.999	1.001	0.937	0.978	0.967	0.983
G_j	0.030	0.000	0.025	0.049	0.110	0.046	0.001	-0.001	0.063	0.022	0.033	0.017
W_j	0.077	0.000	0.064	0.125	0.278	0.117	0.003	-0.003	0.158	0.056	0.082	0.043
Значимость	3	12	7	10	1	5	9	11	4	2	6	8

Таблица 2

Результаты расчета энтропийного веса по оцениваемым показателям компании «Цзыджин Майнинг»

	Запасы золота	Мировой спрос на золото	Мировая цена золота	Внутренняя цена золота	Инвестиции и в геолого-разведочные работы	Капитальные затраты	Инвестиции и на охрану окружающей среды	Инвестиции и в социальные проекты	Общий объем добычи золота	Коэффициент извлечения	Себестоимость реализации	Доход от операции
Ej	0.475	0.521	0.539	0.571	0.301	0.459	0.552	0.529	0.466	0.579	0.518	0.495
Gj	0.525	0.479	0.461	0.429	0.699	0.541	0.448	0.471	0.534	0.421	0.482	0.505
Wj	0.089	0.080	0.077	0.072	0.117	0.090	0.075	0.079	0.088	0.070	0.080	0.084
Значимость	3	7	9	11	1	2	10	8	4	12	6	5

Метод энтропийного веса определяет только важность различных индикаторов воздействия среди их множества и не может определить взаимосвязь между индикаторами независимых переменных и индикаторами зависимых переменных. Поэтому на основе комбинирования методов энтропийного веса и корреляционного анализа определяется связь между независимыми переменными в каждом влияющем факторе и показателями зависимых переменных, характеризующих значимость фактора по добыче золота из минерального сырья. Для замены каждого из индикаторов сначала умножается индекс независимой переменной каждого влияющего фактора на значение энтропийного веса, а затем проводится корреляция между индексами независимой переменной, полученной по методу энтропийного веса, и показателем производства

Значимость влияния каждого независимого фактора на объем добычи золота ПАО «Полюс» и «Цзыджин Майнинг» характеризуются данными, представленными на рисунке 3 и рисунке 4.

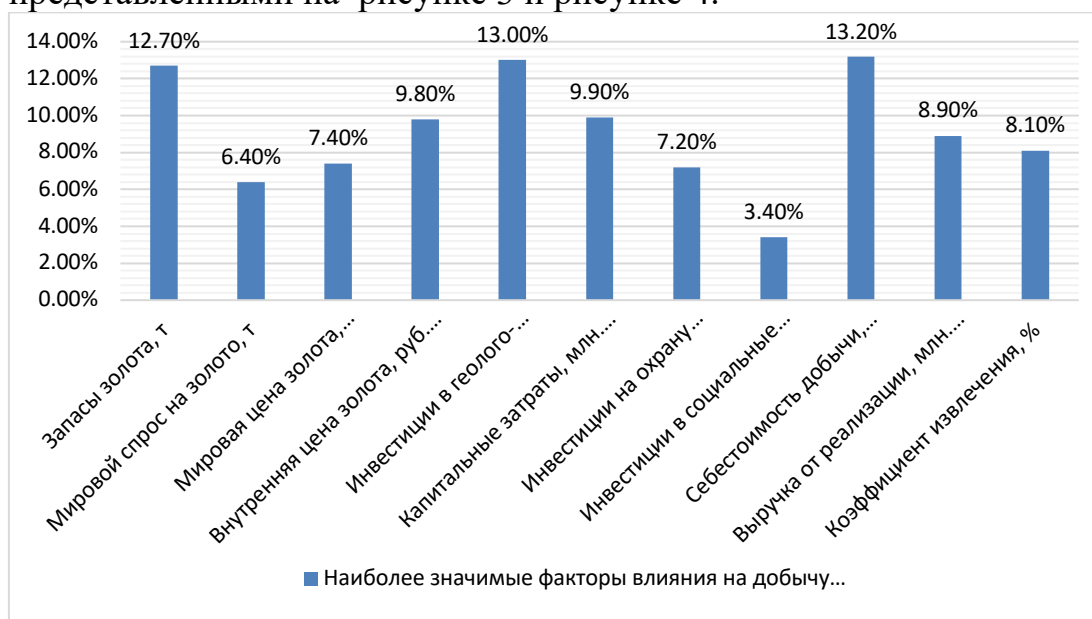


Рисунок 3 – Наиболее значимые факторы влияния на добычу золота на примере ПАО «Полюс»

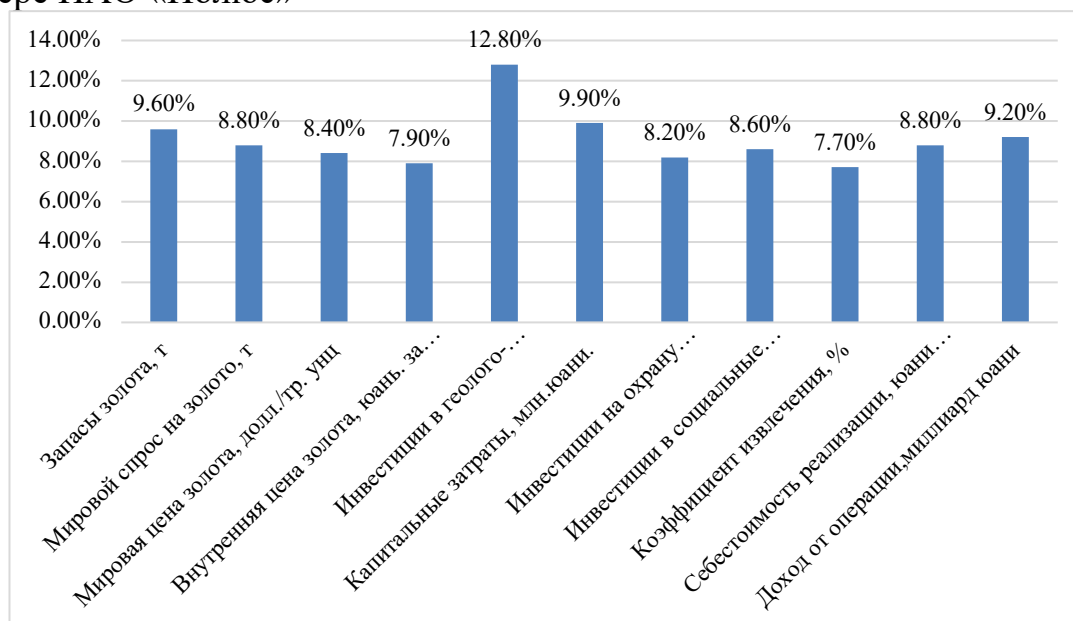


Рисунок 4 – Наиболее значимые факторы влияния на добычу золота на примере компании «Цзыджин Майнинг»

Исходя из анализа показателей (рис.3 и рис. 4) можно выделить 7 наиболее важных факторов, влияющих на эффективность функционирования золотодобывающего предприятия: себестоимость добычи, инвестиции в геолого-разведочные работы, запасы, внутренняя цена золота, коэффициент извлечения, капитальные затраты, выручка от реализации, что служит основой определения оптимальной траектории его развития.

Самый значимый показатель для Российской компании – себестоимость добычи, а самый значимый показатель для Китайской компании – инвестиции в геолого-разведочные работы.

2. *Рациональное планирование объемов добычи и выявление объективных тенденций развития золотодобывающих предприятий в нестабильной экономической среде следует производить на основе применения разработанной эконометрической модели прогнозирования основных показателей производственной деятельности, одновременно использующего преимущества нечеткой логики и нейронных сетей*

Многофакторная регрессионная модель не позволяет в полной мере объективно оценивать динамику ситуации с нестабильными внешними и внутренними факторами и их влиянием на оцениваемый результативный признак. Поэтому в рамках диссертационного исследования была разработана эконометрическую модель прогнозирования добычи золота с использованием нейронных сетей на базе программы TensorFlow. Программа TensorFlow была выбрана в связи с тем, что дает оптимальное быстрое и достаточно легкое решение проверки полученной модели на

работоспособность и среднеквадратическую ошибку (дополнительная верификация).

В целях создания и настройки параметров для прогнозирования и анализа массива данных по производству золота, был сформирован набор входных данных для генерации набора выходных данных с помощью нейронной сети. Далее генерировался набор данных, содержащий временные ряды, в которых значения упорядочены хронологически.

На рисунке 5 представлена модель прогнозирования добычи золота, содержащая коды, входной слой, скрытый слой и выходной слой. В качестве исходной базы данных для прогнозных объемов добычи золота, чтобы избежать проблемы коллинеации, были выбраны 7 важнейших факторов, полученных на основе корреляционного анализа.

Метод прогноза добычи золота на основе нечеткого вывода при применении гибридной сети, целесообразно строить на модели адаптивной нечеткой нейронной сетевой системы ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), так как это предоставляет возможность одновременно использовать преимущества нечеткой логики и нейронных сетей для повышения достоверности прогнозирования эффективного развития в среднесрочной перспективе.

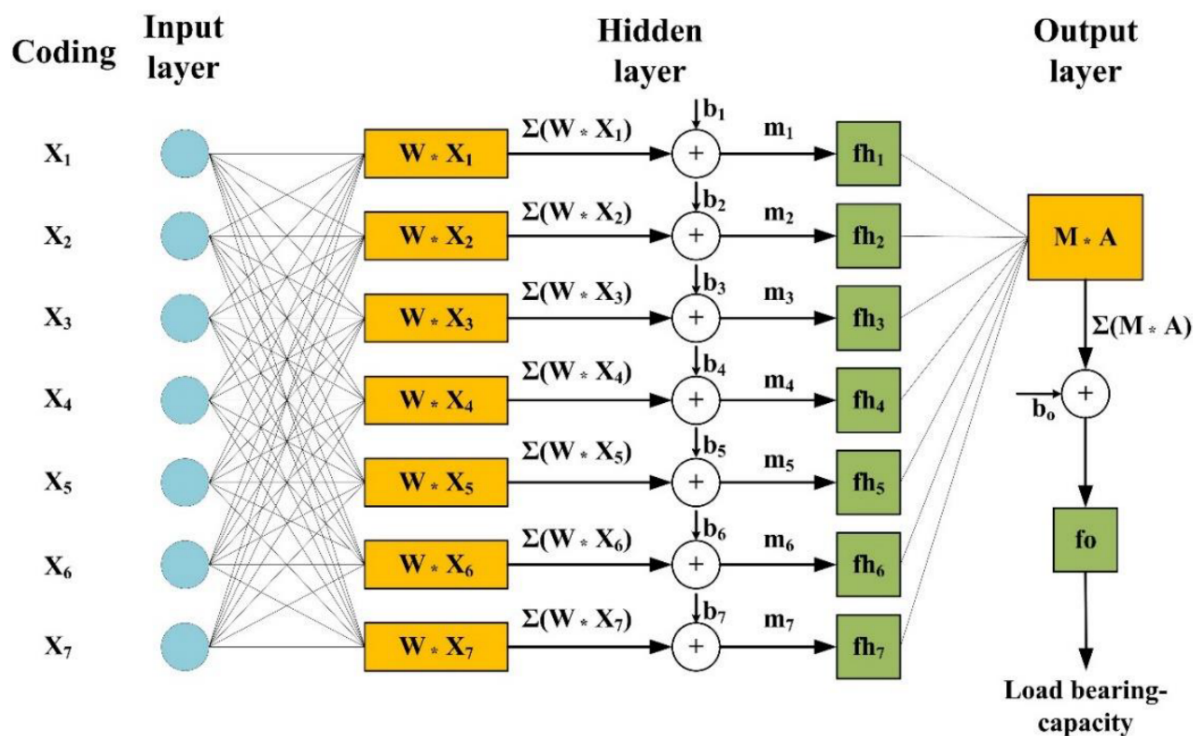


Рисунок 5 – Модель процесса прогнозирования добычи золота

где: X_1 - Себестоимость добычи

X_2 - Инвестиции в геолого-разведочные работы

X_3 - Запасы

X_4 - Внутренняя цена золота

X_5 - Коэффициент извлечения

X_6 - Капитальные затраты

X_7 – Выручка от реализации,
или:

X_1 - Себестоимость реализации

X_2 - Инвестиции в геолого-разведочные работы

X_3 – Запасы

X_4 – Мировой спрос

X_5 – Доход от операции

X_6 – Капитальные затраты

X_7 – Инвестиции в социальные проекты

Разработанную нейронную модель в виде полиномиального тренда можно записать с использованием детерминированных функций времени в виде:

$$y(k) = a_0 + d_1 k + d_2 k^2 + \dots + d_m k^m + \varepsilon(k), \quad (6)$$

где k - дискретное время; d_1 - коэффициенты уравнения.

Сформированная модель на основе использования предложенных выше методов позволила спрогнозировать величину добычи золота в ПАО «Полюс» и «Цзыджин Майнинг» в зависимости от перечисленных выше факторов (таблицы 3 и 4).

Таблица 3

Прогнозные значения общего объема добычи ПАО «Полюс» и факторов, оказывающих наибольшее влияние на добычу золота

Год	Общий объем добычи золота, т	Факторы, оказывающие влияние на добычу золота						
		Себестоимость добычи, млн. долл	Инвестиции в геолого-разведочные работы, млн руб.	Запасы золота, т	Внутренняя цена золота, руб. за грамм	Коэффициент извлечения, %	Капитальные затраты, млн. долл.	Выручка от реализации, млн. долл.
	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
2023	100,1	1840,4	12454,3	1667,5	5344,6	92,4	788,5	4696
2024	105,9	1953,7	13723,0	1607,3	5627,7	85,1	823,9	3993
2025	112,1	2066,9	15097,2	1544,5	6278,9	85,3	859,4	4585
2026	118,3	2180,3	16901,5	1341,1	6991,2	89,7	894,9	4878
2027	124,7	2293,6	18444,9	1268,3	7764,5	92,4	930,3	5045

На основе результатов реализации инструментария, одновременного использующего преимущества нечеткой логики и нейронных сетей для повышения достоверности прогнозирования, можно сделать вывод, что траектория повышения эффективности добычи золота на временном отрезке 2023-2027 гг. для компании «Полюс» будет сохраняться при увеличении

инвестиций в геологоразведочные работы и повышении себестоимости добычи не более, чем на 20-25%.

Таблица 4

Прогнозные значения объемов добычи и факторов, оказывающих наибольшее влияние на добычу золота

Год	Общий объем добычи золота, т	Факторы, оказывающие влияние на добычу золота						
		Себестоимость реализации, юани за грамм	Инвестиции в геологоразведочные работы, млн юани.	Запасы золота, т	Мировой спрос на золото, тонн	Доход от операций, миллиард юани	Капитальные затраты, млн.юани.	Инвестиции в социальные проекты, млн.юани.
	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
2023	66,7	191,77	22,74	2998	4899,0	293,4	3092,89	2973
2024	74,2	186,63	30,36	3380	4772,5	339,7	3324,37	3375
2025	90,8	189,3	20,51	3639	4892,3	379,5	3590,63	2684
2026	92,3	195,8	21,20	3891	5369,0	419,3	4072,50	3840
2027	98,0	201,0	34,90	4135	5726,8	459,1	4413,00	3950

Для компании «Цзыджин Майнинг» значительное повышение эффективности добычи может быть достигнуто при увеличении инвестиций в геологоразведочные работы в 1.5 раза, однако данный тренд имеет место при условии, что гарантированные запасы золотосодержащего минерального сырья за этот период увеличатся в 1,4 раза.

3. Оценка уровня эффективности функционирования золотодобывающего предприятия должна базироваться на разработанном алгоритме, сформированном на основе современных подходов в сферах «Экономика», «Технологии», «Экология» и «Социальная среда», что позволяет объединить отдельные оценки влияющих факторов в общий интегральный показатель, значение которого определяет не только уровень развития, но направления деятельности, где компания отстает от конкурентов.

Стабильное развитие золотодобывающей компании в сложившихся экономических условиях требует принятия нестандартных решений по изменению устоявшихся тенденций, анализировать факторы влияния на устойчивое развитие, адаптироваться к негативным тенденциям и внедрять инновации, чтобы оставаться конкурентоспособными и экономически жизнеспособными в будущем. Обобщив обзор зарубежной и российской научной литературы, можно выделить ряд особенностей, которые необходимо учитывать при формировании интегрального критерия, характеризующего уровень эффективности функционирования золотодобывающего предприятия в нестабильной экономической среде (ИЭФ).

Во-первых, очевидно разделение оцениваемых факторов по ранее выделенным сферам: «Экономика», «Технологии», «Экология» и «Социальная среда»

Во-вторых, необходимо разработать систему количественного учета составляющих данную группу факторов, которая позволит оценить ситуацию по каждому из аспектов и объединить оценки в общий интегральный критерий.

В-третьих, необходимо разработать оценочную шкалу для выявления уровня эффективности функционирования предприятий золотодобычи для принятия решений по развитию производства.

В процессе формирования заявленного методического инструментария использовались: процедура проведения аналогий с имеющимися подходами к оценке устойчивого развития; метод экспертных оценок с участием ведущих специалистов отрасли; частота отображения соответствующей информации в финансовой, нефинансовой отчетности компаний, внутренних документах и в открытых источниках. На рисунке 6 изображены основные этапы реализации (подготовительный, расчетный и заключительный) разработанного алгоритма.

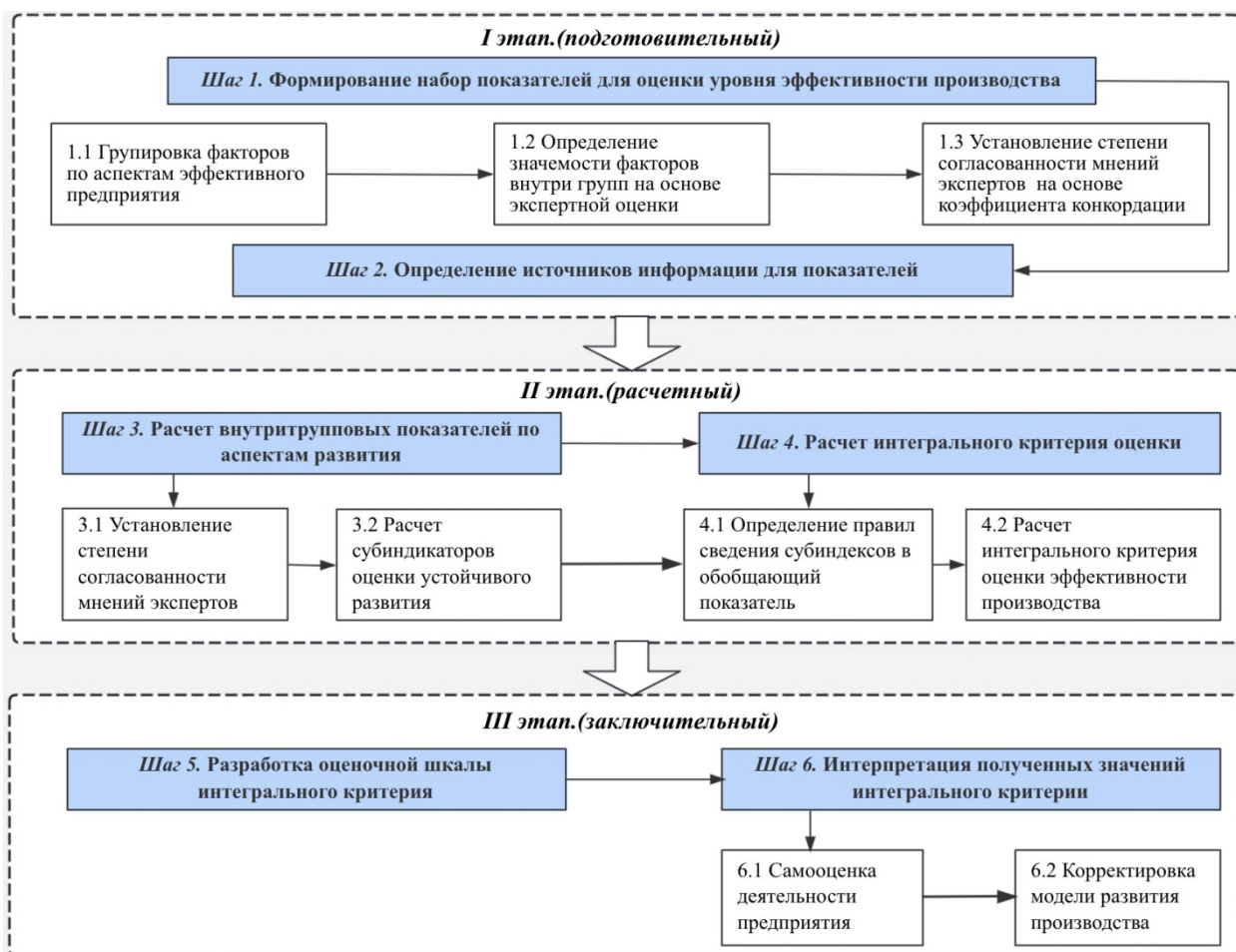


Рисунок 6 – Этапы реализации разработанного алгоритма оценки уровня эффективности функционирования золотодобывающего предприятия

Степень воздействия факторов в группах (весовые коэффициенты) получена экспертным путем.

Согласованность мнений экспертов определена по коэффициенту конкордации (W), соответствующему 0,52-0,85.

Значимость W по критерию Пирсона (χ^2), подтвердила возможность использования полученных результатов в дальнейшем исследовании.

Составляющая ИЭФ «**Экономика**»:

$$I_{\text{экон}} = 0,22K_{\text{зап}} + 0,25K_{\text{объем пр}} + 0,2K_{\text{TSS}} + 0,18K_{\text{EBITDA}} + 0,15K_{\text{рен}} \quad , \quad (7)$$

где $K_{\text{зап}}$ – балансовые запасы золота;

$K_{\text{объем пр}}$ – объем производства;

K_{TSS} – общие денежные затраты (TSS);

K_{EBITDA} – прибыль до вычета процентов, налогов, износа и амортизации;

$K_{\text{рен}}$ – рентабельность по EBITDA.

Составляющая ИЭФ «**Технологии**»:

$$I_{\text{тех}} = 0,45K_{\text{извл}} + 0,33K_{\text{обнов ос}} + 0,22K_{\text{циф}} \quad , \quad (8)$$

где: $K_{\text{извл}}$ – средний коэффициент извлечения золота;

$K_{\text{обнов ос}}$ – уровень обновления основных средств;

$K_{\text{циф}}$ – уровень цифровизации.

Составляющая ИЭФ «**Экология**»:

$$I_{\text{экол}} = \frac{0,39}{K_{\text{климат}}} + \frac{0,3}{K_{\text{вода}}} + \frac{0,31}{K_{\text{отходы}}} \quad , \quad (9)$$

где: $K_{\text{климат}}$ – коэффициент воздействия на климат;

$K_{\text{вода}}$ – коэффициент оборота воды;

$K_{\text{отходы}}$ – объем утилизированных отходов.

Составляющая ИЭФ «**Социальная среда**»:

$$I_{\text{соц}} = 0,41K_{\text{соц}} + \frac{0,3}{K_{\text{LTIFR}}} + 0,29K_{\text{кадры}} \quad , \quad (10)$$

где: $K_{\text{соц}}$ – инвестиции в социальные проекты;

K_{LTIFR} – коэффициент LTIFR;

$K_{\text{кадры}}$ – стабильность кадров.

Интегральный показатель оценки эффективности функционирования золотодобывающего предприятия (ИЭФ) предлагается рассчитывать как средневзвешенное значение групповых показателей:

$$I_{\text{ЭФ}} = \sum I_i \times K_{\text{п}_i} \quad , \quad (11)$$

где: I_i – значение индекса по каждой i -ой группе;

$K_{\text{п}_i}$ – весовой коэффициент i -ой группы в интегральном показателе.

Индексы каждой группы показателей (I_i) рассчитываются как средневзвешенное значение показателей с учетом их весовых коэффициентов и обозначаются следующим образом:

$I_{\text{экон}}$ – индекс развития в области экономики;

$I_{\text{тех}}$ – индекс развития и в области технологий;

$I_{\text{экол}}$ – индекс развития и в области воздействия на окружающую среду;

$I_{\text{соц}}$ – индекс в области социального развития.

$$I_i = \sum I_{пj} \times K_{пj} \quad , \quad (12)$$

где: $I_{пj}$ - значение показателей в каждой j -ой составляющей: «Экономика», «Технологии», «Экология», «Социальное развитие»;
 $K_{пj}$ - весовой коэффициент показателя внутри j -ой группы.

Показатель $I_{пj}$ рассчитывается как:

$$I_{пj} = \frac{П_j^{\text{отч}}}{П_j^{\text{пред}}} \quad , \quad (13)$$

где $П_j^{\text{отч}}$ – показатель отчетного года;
 $П_j^{\text{пред}}$ – показатель предыдущего года.

Заключительным этапом реализации разработанного алгоритма является присвоение рейтинга рассматриваемому золотодобывающему предприятию в зависимости от полученного значения интегрального критерия, а также интерпретация полученных значений, их анализ и сравнение, как с другими компаниями, так и в динамике внутри одного предприятия.

Оценку уровня эффективности функционирования золотодобывающего предприятия предлагается производить по разработанной шкале (табл. 5).

Таблица 5

Рейтинговая шкала значений общего интегрального показателя, определяющего уровень развития производства

Уровни развития производства	Диапазон
высокоэффективное развитие	$0,8 < \text{ИЭФ} \leq 2$
устойчивое развитие	$0,6 < \text{ИЭФ} \leq 0,8$
стагнация	$0,4 < \text{ИЭФ} \leq 0,6$
критическое положение	$0,3 < \text{ИЭФ} \leq 0,4$

Отнесение значения общего интегрального показателя к тому или иному рейтингу развития поможет, в первую очередь, провести самооценку деятельности, станет поводом к выявлению «слабых» сторон в направлениях, где компания отстает от конкурентов.

Апробация предложенного инструментария была выполнена по доступным данным производственной деятельности. ПАО «Полюс» и «Цзыджин Майнинг»; результаты экономической оценки уровня развития каждой компании отражены в таблицах 6 и 7.

Согласно полученным данным по шкале значений общих интегральных показателей, определяющих уровень развития производства, ПАО «Полюс»

в оцениваемом периоде 2017-2022 гг. и компания «Цзыджин Майнинг» в оцениваемом периоде 2019-2022 гг. функционируют с высоким уровнем эффективности в условиях лабильной экономической среды.

Таблица 6

Расчет общего интегрального показателя оценки развития ПАО «Полюс» за 2017-2022 гг.

Группы	Обозначение показателя	Вес показателя	2017	2018	2019	2020	2021	2022
«Экономика»	$K_{запас}$	0,22	0,24	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
	$K_{объем\ пр}$	0,33	0,27	0,31	0,36	0,35	0,25	0,23
	K_{TSS}	0,21	0,22	0,21	0,31	0,35	0,17	0,26
	K_{EBITDA}	0,23	0,18	0,21	0,31	0,35	0,17	0,13
	$K_{рен}$	0,18	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,13
	$I_{экон}$	1,00	1,06	1,13	1,26	1,29	1,00	0,96
«Технологии»	$K_{извл}$	0,45	0,45	0,43	0,44	0,45	0,44	0,49
	$K_{обнов\ ос}$	0,33	0,44	0,31	0,26	0,27	0,48	0,21
	$K_{циф}$	0,22	0,22	0,22	0,23	0,26	0,32	0,14
	$I_{тех}$	1,00	1,11	0,97	0,93	0,98	1,24	0,84
«Экология»	$K_{климат}$	0,39	0,43	0,36	0,19	0,26	0,72	0,30
	$K_{вода}$	0,30	0,30	0,29	0,31	0,31	0,30	0,30
	$K_{отходы}$	0,31	0,28	0,35	0,59	0,44	0,33	1,02
	$I_{экол}$	1,00	1,00	1,00	1,09	1,01	1,35	1,62
«Социальная сфера»	$K_{инвест}$	0,41	0,42	0,49	0,38	0,54	0,52	0,46
	K_{LTIFR}	0,30	0,18	0,22	0,27	0,30	0,54	0,23
	$K_{кадры}$	0,29	0,24	0,33	0,26	0,36	0,31	0,29
	$I_{соц}$	1,00	0,85	1,04	0,91	1,20	1,37	0,99
Интегральный показатель	ИЭФ		1,00	1,03	1,05	1,12	1,22	1,07

Таблица 7

Расчет общего интегрального показателя оценки развития «Цзыджин

Майнинг» за 2019-2022 гг.

Группы	Обозначение показателя	Вес показателя	2019	2020	2021	2022
«Экономика»	$K_{запас}$	0.22	0.24	0.27	0.22	0.29
	$K_{объем\ пр}$	0.25	0.28	0.25	0.29	0.30
	K_{TSS}	0.20	0.19	0.25	0.16	0.17
	K_{EBITDA}	0.18	0.29	0.23	0.27	0.21
	$K_{рен}$	0.15	0.16	0.17	0.14	0.13
	$I_{экон}$	1.00	1,16	1,17	1.08	1.10
«Технологии»	$K_{извл}$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	$K_{обнов\ ос}$	0.33	0.37	0.42	0.38	0.43
	$K_{циф}$	0.22	0.25	0.56	0.23	0.44
	$I_{тех}$	1.00	1.08	1.43	1.06	1.32
«Экология»	$K_{климат}$	0.39	0.40	0.30	0.35	0.33
	$K_{вода}$	0.30	0.30	0.30	0.29	0.31
	$K_{отходы}$	0.31	0.36	0.34	0.36	0.40
	$I_{экол}$	1.00	1.06	0.94	1.00	1.03
«Социальная сфера»	$K_{инвест}$	0.41	0.49	0.47	0.81	0.51
	K_{LTIFR}	0.30	0.37	0.11	0.27	0.29
	$K_{кадры}$	0.29	0.30	0.31	0.30	0.29
	$I_{соц}$	1.00	1.15	0.89	1.38	1.09
Интегральный показатель	ИЭФ		1.11	1.14	1.12	1.15

Предложенные инструменты по выявлению направлений повышения эффективности функционирования золотодобывающих предприятий в нестабильных экономических условиях, в целом, характеризуются гибкостью и динамичностью, способствуют оптимизации моделей горного производства и могут быть полезны при выборе траектории эффективного развития производства на перспективу.

Выводы и рекомендации диссертационного исследования приняты «Фусинь горнодобывающая компания» для формирования стратегии устойчивого развития в лабильной экономической среде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе выполненных автором исследований осуществлено решение актуальной научной задачи по оценке перспектив и выявлению возможностей эффективного функционирования золотодобывающих предприятий в нестабильной экономической среде, исходя из запасов разрабатываемых месторождений, цен на золото, инвестиций в геологоразведочные работы, применения новых технологий добычи, снижения нагрузки на окружающую среду и повышения уровня социальной защищенности.

Основные выводы и результаты, полученные лично автором:

1. В результате анализа и систематизации существующих подходов сформирована система критериев и индикаторов, в которых отражен характер воздействия внутренних и внешних факторов на эффективность функционирования золотодобывающих предприятий в лабильной экономической среде. При этом устойчивое развитие золотодобывающих предприятий определяется, в первую очередь, стабильным состоянием сырьевой базы, т.е. достаточной обеспеченностью добычи балансовыми запасами.
2. Определение динамики показателей по балансовым и разведанным запасам разрабатываемых месторождений, спросу и предложению золота на ближайшую перспективу целесообразно осуществлять на основе применения метода аппроксимации по рассеянным точкам, позволяющим выявить оптимальную траекторию (линию тренда), развития производства, характеризуемую наибольшим значением коэффициента детерминации.
3. Предложена процедура количественной оценки влияния отдельных факторов на конечный результат производственно-хозяйственной деятельности золотодобывающей компании, в которой на основе комбинирования методов энтропийного веса и корреляционного анализа определяется связь между независимыми переменными в каждом влияющем факторе и показателями зависимых переменных, характеризующих значимость фактора по добыче золота.
4. Доказано, что инвестиции в геологоразведку для обеспечения стабильности запасов золотосодержащего сырья являются очень значимым показателем эффективного функционирования золотодобывающих предприятий; вторым по важности фактором для предприятий РФ, является себестоимость добычи, которая, в конечном итоге, определяет уровень технологии производства; для предприятий Китая вторым по важности фактором являются капитальные затраты.
5. На основе использования нейронных сетей с помощью платформы TensorFlow.js разработана эконометрическая модель прогнозирования объемов добычи золота в зависимости от изменения наиболее важных факторов внутренней и внешней среды, позволяющая осуществить количественный и качественный анализ тенденций развития золотодобывающих предприятий.

6. Сформирован алгоритм оценки эффективности функционирования золотодобывающего предприятия на основе определения интегрального критерия, учитывающего взаимовлияние факторов по сферам: «Экономика», «Технологии», «Экология» и «Социальная среда», что позволяет выявить перспективные направления оптимизации экономических результатов производственного цикла по добыче и переработке золотосодержащего сырья в нестабильных условиях.
7. Составлена шкала рейтинговых показателей эффективности функционирования золотодобывающих предприятий. Отнесение значения общего интегрального критерия к тому или иному рейтингу развития поможет провести самооценку деятельности, станет поводом к выявлению направлений, где компания отстает от конкурентов.
8. Предложенный экономический инструментарий характеризуется гибкостью и динамичностью, может найти применение при оптимизации моделей горного производства в лабильной среде. Разработанные в диссертации рекомендации и выводы будут использованы «Фусинь горнодобывающая компания» при принятии решений по обеспечению траектории устойчивого развития производства на перспективу.

Основополагающие публикации по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК России

1. **Чжан Чи.** Корпоративная практика золотодобывающих предприятий по достижению целей устойчивого развития: экологический аспект // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2019. Том 9. № 12-2. С. 212-227. (1,1 п.л./1,1 п.л. авторских)
2. **Чжан Чи,** Основные критерии, принципы и направления обеспечения устойчивого развития золотодобывающей отрасли // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2020. Т.16. № 11. С. 2142-2160. (1,0 п.л./1,0 п.л. авторских)
3. **Чжан Чи,** Заернюк В.М., Забайкин Ю.В. Актуальные перспективы развития предприятий золотодобывающей отрасли Китая // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Том 10. № 1-1. С. 11-21. (0,6 п.л./0,3 п.л. авторских)
4. **Чжан Чи,** Заернюк В.М. Анализ и прогнозирование производства золота в Российской Федерации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2021. Т.17, № 7(400). С. 1326-1343. 0,5 п.л. (0,9 п.л./0,45 п.л. авторских)
5. **Чжан Чи,** Заернюк В.М. Энтропийный метод анализа данных для процедуры определения степени влияния факторов на устойчивое развитие предприятий минерально-сырьевого комплекса // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2022. Т.18. № 6. С. 1188-1200. (0,8 п.л./0,4 п.л. авторских)
6. **Чжан Чи,** Заернюк В.М. Количественная оценка факторов,

определяющих устойчивое развитие золотодобывающей отрасли // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2022. Т.18. № 7. С. 1354-1373. (1,0 п.л./0,5 п.л. авторских)

7. **Чжан Чи**, Мясков А.В. Исследование эффективности функционирования китайских золотодобывающих предприятий на основе нейронных сетей // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024. Т.6. № 8. С. 86-92. (1,0 п.л./0,5 п.л. авторских)

Статьи в рецензируемых журналах Scopus

8. Zaernyuk, V.M. Economic growth and environmental quality: problems and ways to solve them / V.M. Zaernyuk, M.F. Kharlamov, Yu.V. Zabaykin, Chang Chi // Economic Annals-XXI, 2020. Vol. 183. No. 5-6, pp. 43-50 (1,0 п.л. / 0,2 п.л. авторские)

Статьи в журналах, сборниках научных статей и материалах конференций

9. **Чжан Чи**. Перспективы устойчивого развития российских золотодобывающих предприятий // В сборнике: Сборник статей XXXII Международного научно-исследовательского конкурса: материалы Лучший исследовательский проект / Международный центр научного сотрудничества (МЦНС). М.: МЦНС «Наука и Просвещение», 2020. С. 13-20. (0,2 п.л./0,1 п.л. авторские)

10. **Чжан Чи**, Заернюк В.М. Цифровизация обеспечивает устойчивую продуктивность минерально-сырьевого комплекса // В сборнике: Молодые-научкам о земле: материалы X Международная научная конференция молодых ученых «Молодые - Научкам о Земле» / Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). М.: Издательство МГРИ-РГГРУ. 2022. С.254-258. (0,2 п.л./0,1 п.л. авторские)