

Письменный отзыв
официального рецензента на диссертационную работу
Касымовой Динары Бекжановны
на тему «**Исследования по снижению отрицательного влияния медьсодержащих компонентов на показатели цианидного выщелачивания золотосодержащих руд**», представленную на соискание степени PhD по направлению подготовки 8D072 «Производственные и обрабатывающие отрасли», по образовательной программе 8D07202 «Металлургия».

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) <u>диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);</u> 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению	Диссертация выполнена в рамках приоритетного направления развития науки Республики Казахстан на 2025–2027 годы по теме «Экология, окружающая среда и рациональное природопользование». Тема направлена на снижение негативного влияния меди на цианидное выщелачивание золота, что соответствует стратегии рационального природопользования и повышения экологической безопасности гидрометаллургических производств.

		развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта.	Диссертантом получены новые данные о механизмах взаимодействия медьсодержащих минералов с цианидными растворами, установлены кинетические закономерности, влияющие на извлечение золота. Разработана оригинальная гибридная модель (вероятностно-детерминистический подход + машинное обучение) для прогнозирования осаждения меди, что расширяет теоретические основы гидрометаллургии комплексных руд
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	О личном вкладе соискателя свидетельствует то, что диссертант самостоятельно определила цель и задачи работы, непосредственно участвовала в проведении всех экспериментальных исследований (включая полупромышленные испытания), является первым автором патента на полезную модель, а также большинства публикаций по теме диссертации – в том числе статьи в журнале, индексируемом Scopus, и

			статей в изданиях, рекомендованных КОКСНВО
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована ; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	4.1 В работе убедительно показано, что переработка золотомедных руд сталкивается с ростом расхода цианида и снижением извлечения золота из-за присутствия растворимых форм меди. Автор провёл детальный анализ мировых и казахстанских тенденций, указал на исчерпание легкообогатимых руд и необходимость вовлечения упорного сырья. Актуальность подтверждена ссылками на государственные приоритеты (экология и рациональное природопользование) и запросом промышленности (письмо поддержки ТОО «КЭМП-ВОСТОК»). Таким образом, актуальность темы не вызывает сомнений.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает ; 2) частично отражает; 3) не отражает.	4.2 Все разделы работы последовательно раскрывают заявленную тему: от минералогической характеристики руды и анализа её цианидопоглощающей способности до разработки технологических решений по осаждению меди, регенерации цианида и

			обезвреживанию растворов. Экспериментальные данные, математические модели и экономические расчёты непосредственно связаны с целью исследования — снижением отрицательного влияния меди на показатели цианирования. Отклонений от темы не обнаружено.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствуют; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	4.3 Цель работы — разработка модернизированной технологии сорбционного выщелачивания золотомедных руд — полностью согласуется с названием диссертации. Для её достижения поставлены шесть задач, каждая из которых логически вытекает из проблемы: изучение вещественного состава, оценка влияния меди, кинетические исследования, поиск способов снижения негативного эффекта, оптимизация режимов и попутное извлечение меди. Все задачи решены в соответствующих разделах, что подтверждает их соответствие цели и теме.

		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	4.4 Работа построена по классическому принципу: обзор → постановка задач → методика → эксперимент → моделирование → экономика → выводы. Результаты минералогических исследований (Раздел 3.1) напрямую определяют условия выщелачивания (3.3–3.4), данные по замкнутому циклу обосновывают необходимость осаждения меди (Раздел 4), а математические модели служат инструментом для прогнозирования параметров. Полупромышленные испытания подтверждают лабораторные результаты, а экономическая оценка завершает логическую цепочку, демонстрируя целесообразность внедрения. Взаимосвязь прослеживается на всех уровнях – от микроструктуры руды до технико-экономических показателей. 4.5 Предложенные автором новые решения аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями – критический анализ есть.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по	

		сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	В литературном обзоре (Раздел 1) автором рассмотрены существующие технологии (SART, AVR, MNR, альтернативные реагенты) и выявлены их ограничения: высокие капитальные затраты, сложность управления, чувствительность к составу сырья. На основе этого автор обосновывает выбор своего подхода – осаждение меди в виде CuCN без введения сульфидизатора, что упрощает схему и снижает солевую нагрузку. Проведено сравнение эффективности осаждения с и без Na₂S. Однако следует отметить, что сравнение технико-экономических показателей разработанной схемы с промышленными аналогами (SART, AVR) в количественном выражении не выполнено, что несколько снижает доказательность преимущества. Тем не менее, критический анализ существующих методов присутствует и является достаточным для обоснования собственных решений.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	5.1 В диссертации получен ряд новых научных результатов: установлена определяющая роль текстурно-структурных особенностей микрозернистых агрегатов халькопирита с

		3) не новые (новыми являются менее 25%).	вторичными сульфидами меди в формировании эффекта пассивации золота; выявлены физико-химические закономерности распределения ионных форм меди в щелочно-цианистых средах, обосновывающие механизм вывода меди без дополнительных сульфидизаторов; определены термодинамические границы селективного выщелачивания золота в присутствии медьсодержащих минералов. Эти результаты являются оригинальными и ранее не публиковались. В то же время отдельные подходы (например, осаждение меди в виде CuCN при подкислении) известны из литературы (Sceresini и др.), поэтому в целом новизна носит частичный характер, но её доля превышает 50 %, что соответствует критериям.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	5.2 Сформулированные в заключении выводы основаны на собственных экспериментальных данных и отражают количественные зависимости, полученные впервые для конкретного месторождения

			упрощает аппаратное оформление и снижает солевую нагрузку на обратную воду. Кроме того, впервые применена гибридная методология (вероятностно-детерминистическое планирование + машинное обучение) для оптимизации параметров осаждения меди. Получен патент РК на полезную модель, что подтверждает новизну технического решения. Экономическое решение также новое, поскольку учитывает специфику казахстанского сырья и климатические условия. Таким образом, технико-технологические и экономические решения являются полностью новыми и обоснованными экспериментально.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Выводы базируются на большом объеме экспериментальных данных (более 50 опытов по осаждению, 14 циклов в замкнутом режиме, полупромышленные испытания), подтверждены статистической обработкой и математическим моделированием. Однако часть выводов требует корректировки из-за численных противоречий в таблицах

7.	Основные положения, выносимые на защиту: Положение 1: Закономерность снижения показателей цианирования золотомедных руд, определяемая микрозернистым характером (10–44 мкм) и высокой степенью агрегированности халькопирита со вторичными лабильными сульфидами меди, которые обуславливают кинетику растворения золота за счет его экранирования и конкурирующего комплексобразования.	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	7.1 Подтверждено детальными минералогическими исследованиями (растровая электронная микроскопия, оптическая микроскопия, рентгенофазовый анализ), рациональным анализом золота и меди, а также прямыми опытами по выщелачиванию, показавшими снижение извлечения при недостаточном раскрытии сростков. Выявлена прямая связь между размером зёрен халькопирита и остаточным содержанием золота в крупных классах кека. 7.2 Установленная взаимосвязь между конкретными текстурно-структурными особенностями (микрозернистость, агрегированность с борнитом, халькозином, ковеллином) и эффектом экранирования золота ранее для руд данного минералогического типа не описывалась в такой детализации
----	---	--	--

		7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно	7.3 Это положение сформулировано впервые для руд месторождения «Юбилейное» и опубликовано в рецензируемых журналах, в том числе в издании, индексируемом Scopus 7.4 Закономерность может быть использована при минералогическом прогнозировании поведения аналогичных золотомедных руд с преобладанием первичных и вторичных сульфидов меди. 7.5 Основные результаты опубликованы в статьях (в том числе в журнале Processes, 2025, и в изданиях КОКСНВО), где приведены микрофотографии, данные рационального анализа и кинетические кривые.
	Прогностическая математическая модель и алгоритм управления процессом осаждения меди из технологических растворов,	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение?	7.1 Модель построена на 50 экспериментах, показала высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,993$ против 0,911 у аналитической модели).

	базирующиеся на интеграции вероятностно-детерминистического подхода и ансамблевого машинного обучения (AdaBoost), обеспечивающие двукратное снижение погрешности аппроксимации переходных режимов сульфидизации	1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний;	Однако отсутствует валидация на независимой выборке (нет разделения на обучающую и тестовую выборки, нет кросс-валидации), что снижает строгость доказательства, но сама модель работоспособна и имеет физико-химическую интерпретацию. 7.2 Применение машинного обучения (AdaBoost) для прогнозирования осаждения меди в цианидных растворах является нетривиальным и ранее в гидрометаллургии золота в таком сочетании не применялось. 7.3 Гибридный подход (вероятностно-детерминистическое планирование + AdaBoost) предложен впервые для задачи осаждения меди из цианидных растворов; новизна подтверждена публикациями. 7.4 Модель может быть адаптирована для других гидрометаллургических процессов с нелинейными зависимостями, однако
--	--	--	--

		3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно	требует настройки на конкретные системы. 7.5 Метод описан в статье опубликованный в журнале Processes
	Положение 3: Физико-химически обоснованная технология осаждения меди в форме труднорастворимого соединения CuCN, обеспечивающего вывод меди из растворов сорбционного цианирования с одновременным снижением солевой нагрузки на обратную систему водоснабжения	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да;	7.1 Экспериментально показано, что осаждение в виде CuCN при pH 3,0–3,5 позволяет достичь остаточной концентрации меди 0,04–0,06 г/дм³, что существенно ниже, чем при сульфидном осаждении (0,15–0,20 г/дм³). Подтверждено данными фильтрации, сгущения и химического состава осадка (52,1 % Cu), а также снижением содержания солей в обратной воде.

	2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет;	7.2 Выбор оптимальных условий (pH, отказ от сульфидизатора) для конкретного состава растворов, полученных при переработке руды «Юбилейное», определён впервые и защищён патентом. 7.3 Технология осаждения меди в виде CuCN без введения Na₂S с одновременной регенерацией свободного цианида является новой для казахстанских золотомедных руд; получен патент на полезную модель. 7.4 Считаю, что уровень применения узкий, поскольку технология оптимизирована под растворы с содержанием меди 0,34–1,55 г/дм³ и низким содержанием примесей, характерных для данного месторождения). 7.5 Результаты по осаждению CuCN приведены в статье в Processes (2025) и в патенте, где описаны условия и показатели процесса.
--	---	---

		3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно	
	Положение №4 Комплексная технологическая схема гидрометаллургической переработки золотомедной руды месторождения «Юбилейное», отличающаяся сочетанием прецизионного осаждения меди и глубокой деструкции остаточных цианидов с солями натрия, обеспечивающая сквозное извлечение золота и меди в товарные продукты при соблюдении экологических нормативов):	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	7.1 Схема прошла полупромышленные испытания на 2,0 тоннах руды (согласно акту, Приложение А). Подтверждены показатели: извлечение золота в раствор – до 84,2 %, получение медного осадка с 52,1 % Cu, снижение концентрации WAD-цианида при обезвреживании до <0,25 мг/дм³. Выполнены материальные балансы (14 оборотов в замкнутом цикле), подтверждающие возможность возврата цианида. 7.2 Сочетание операций (сорбционное выщелачивание, селективная десорбция меди, осаждение CuCN без сульфидизатора, регенерация цианида, обезвреживание метабисульфитом) для руды данного типа ранее не предлагалось.

		7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно	7.3 Комплексная схема является новой, защищена патентом, одобрена предприятием (письмо поддержки) и внедрена в учебный процесс. 7.4 Схема может быть адаптирована для других золотомедных руд Казахстана с корректировкой параметров (pH, расход реагентов) в зависимости от состава сырья. 7.5 Результаты полупромышленных испытаний и технологической схемы опубликованы в статьях, приведены в акте испытаний и подтверждены письмом поддержки ТОО «КЭМП-ВОСТОК».
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да; 2) нет.	8.1 В работе представлена чёткая методологическая схема (рис. 2.2) с детализацией всех этапов: пробоподготовка, минералогические методы (XRD, TGA/DSC, ICP-MS,

		оптическая микроскопия), лабораторное и полупромышленное выщелачивание, эксперименты по сгущению, сорбции, десорбции, осаждению меди и математическое моделирование. Указано оборудование и условия опытов.
	8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) да; 2) нет.	8.2 Используются современные физико-химические методы (рентгенофазовый анализ, РЭМ, термический анализ, атомно-эмиссионная спектрометрия), вероятностно-детерминистическое планирование эксперимента и машинное обучение (AdaBoost). Применены программные комплексы («Минерал С7», DIFRAC.EVA, HSC Chemistry 9). Это соответствует современному уровню исследований.
	8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим	8.3 Все теоретические построения базируются на обширном эксперименте: >50 опытов по осаждению, 14 циклов в замкнутом режиме, полупромышленные испытания на 2 т руды. Сходимость расчётных и экспериментальных данных по осаждению меди – 1,2 %, а модель

		наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) да; 2) нет.	AdaBoost имеет $R^2 = 0,993$, что подтверждает адекватность. 8.4 Список литературы (125 источников) включает фундаментальные работы, актуальные статьи (более 40 % – после 2015 г.) и нормативные документы. Ключевые утверждения о влиянии меди и известных технологиях снабжены ссылками. Однако отсутствуют ссылки на конкретные производственные данные при сравнении с аналогами по экономическим показателям. 8.5 Объем и состав литературы полностью охватывают основные направления: цианирование, поведение медьсодержащих минералов, регенерацию цианида, альтернативные реагенты и моделирование. Источники разнообразны по географии и включают как классические, так и новейшие публикации. Этого достаточно для обоснования актуальности и интерпретации результатов.
		8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	
		8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	

9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да; 2) нет.	9.1 Теоретическая значимость подтверждена: установлены механизмы пассивации золота при цианировании, выявлены термодинамические границы селективного выщелачивания, разработана гибридная математическая модель осаждения меди, расширяющая теорию гетерогенных гидрометаллургических процессов.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет.	9.2 Разработанная технология прошла полупромышленные испытания (акт испытаний), получен патент, имеется письмо поддержки от ТОО «КЭМП-ВОСТОК» и акт внедрения в учебный процесс. Это подтверждает высокую вероятность промышленного применения.
		9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) полностью новые;	9.3 Предложена оригинальная технологическая схема, включающая осаждение меди в виде CuCN без

		2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	сульфидизатора с регенерацией цианида и глубокой деструкцией отходов, защищённая патентом РК. Для данного типа руд и климатических условий Казахстана такие решения предложены впервые.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: высокое; среднее; ниже среднего; низкое.	Диссертация написана научным языком, содержит все необходимые разделы, аккуратно оформлена. Однако имеются многочисленные опечатки и противоречия между текстом и таблицами, что снижает общее качество.
11.	Замечания к диссертации		• Содержание меди в руде по табл. 3.1 – 0,15 %, а по табл. 4.9 принято 0,11 %, и масса меди (1,1 т на 100 000 т руды) не соответствует указанному содержанию; • В заключении (стр. 104) указано, что попутное извлечение меди составляет 15 %, тогда как в разделе 4.4 (стр. 97) дважды повторяется значение 2,77 %. Расхождение в 5,4 раза не является технической опечаткой и не пояснено в тексте; • В таблице 4.10, представляющей калькуляцию себестоимости предлагаемой технологии, из статей затрат учтены лишь расходы на серную кислоту и электроэнергию. При этом в тексте диссертации указаны расходы и других

			реагентов (NaCN – 2,4 кг/т руды, флокулянты, известь, метабисульфит натрия, активированный уголь), и их стоимость в таблицу не включена. В результате представленная в работе экономическая оценка не отражает реальной структуры себестоимости, а расчёт прибыли и срока окупаемости (182,5 млн тг/год и 2–3 года соответственно) не имеет достаточного обоснования.
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)		Диссертант имеет 9 публикаций, из них 1 статья в журнале Q2 (Scopus/WoS, процентиль 60), 6 статей в журналах, рекомендованных КОКШВО, получен патент на полезную модель РК. Также доложено на 2 международных конференциях. Публикации отражают основное содержание работы и соответствуют требованиям к PhD-диссертациям.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)		Диссертационная работа Касымовой Динары Бекжановны «Исследования по снижению отрицательного влияния медьсодержащих компонентов на показатели цианидного выщелачивания золотосодержащих руд» соответствует требованиям, предъявляемым к

			диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению 8D07202 – «Металлургия». Несмотря на выявленные замечания (см. п. 11), которые носят устранимый характер, работа обладает научной новизной, практической значимостью. В связи с этим, считаю, что диссертант заслуживает присуждения степени PhD по направлению подготовки 8D072 «Производственные и обрабатывающие отрасли», по образовательной программе 8D07202 «Металлургия».
--	--	--	---

Рецензент

PhD, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Горно-Металлургического института имени О.А. Байконурова, НАО «КазНТУ имени К. И. Сатпаева»



О. Байгенженов

Байгенженов О.С.