

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу Абиқақ Еркежан Баймұратқызы
на тему «Разработка технологии получения цветных и благородных металлов при
комплексной переработке техногенных отходов – пиритных огарков»
представленную на соискание доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D05302 – «Химия»

№ п/п	Критерии	Соответствие критерии (необходимо отметить один из вариантов ответов)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) Соответствует направлениям развития науки или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: <u>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета</u> 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно- технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	Диссертационная работа выполнена в АО «Институт металлургии и обогащения» в рамках проектов грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан: - ГФ AP092594551 «Разработка технологии переработки пиритных огарков с извлечением ценных компонентов и предварительной химической активацией исходного сырья» (2021-2023 г.г.)
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта	Работа вносит заметный вклад в теорию химической активации минерального сырья и гидрометаллургических процессов, в частности в область кинетики и закономерностей сернокислотно- тиомочевинного выщелачивания золота из пиритных огарков с построением модели поверхности отклика с оптимизацией технологических параметров, а так же в области оценки термодинамической реакционной способности гидрокарбоната натрия с компонентами пиритных огарков
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий</u> 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	Автор самостоятельно провел полный цикл экспериментальных исследований, включая сбор, интерпретацию, обобщение и анализ полученных результатов. Глубокий патентно- информационный позволил ему подготовить статьи по оптимизации параметров выщелачивания золота и серебра из

			пиритных огарков с использованием метода поверхности отклика. Эксперименты по извлечению благородных и цветных металлов из пиритных огарков, проведенные автором самостоятельно, и укрупненные лабораторные испытания подтвердили перспективность этого подхода. Таким образом, автор продемонстрировал высокий уровень самостоятельности, сочетая практические навыки экспериментатора с аналитическими способностями и умением применять современные методы для решения поставленных задач. Характер работы соответствует требованиям, предъявляемым к теоретической и прикладной химии.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована;</u> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Обоснованием проведенных исследований является актуальная задача переработки многотоннажных техногенных отходов – пиритных огарков, имеющая как научную, так и практическую значимость. Автор представленной диссертационной работы в литературном обзоре привел сведения о современных способах переработки пиритных огарков обосновал актуальность темы и указал связь данного исследования с общими трендами. Детально раскрыта значимость разработки комплексной технологии переработки техногенных отходов – пиритных огарков с извлечением всех ценных компонентов, которая позволит снизить объёмы накопленных отходов; предотвратить загрязнение окружающей среды; расширить сырьевую базу благородных и цветных металлов и создать высокорентабельное производство при реализации разработанной технологии.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает;</u> 2) частично отражает; 3) не отражает.	Диссертационная работа представляет собой логически завершённое научное исследование, направленное на разработку технологии получения благородных и цветных металлов при комплексной переработке техногенных отходов – пиритных огарков. Работа состоит из 6 взаимосвязанных глав, раскрывающих различные аспекты данной проблемы. В ходе исследования были изучены физико-химические характеристики сырьевых материалов, проведена предварительная химическая активация пиритных огарков с термодинамическим анализом протекающих реакций, выполнены лабораторные и укрупненно-лабораторные испытания разработанной технологии на пилотной установке, разработан усовершенствованный способ извлечения благородных металлов из пиритных огарков методом сернокислотно-

			тиомочевинного выщелачивания, проведена оптимизация технологических параметров методом поверхности отклика, а также представлен технико-экономический расчет рентабельности планируемого производства. Ключевыми целями работы является извлечение благородных металлов при комплексной переработке многотоннажных техногенных отходов – пиритных огарков.
		4.3 Цель и задачи соответствует теме диссертации 1) <u>Соответствуют;</u> 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют.	Целью диссертационной работы является разработка технологии получения цветных и благородных металлов при комплексной переработке пиритных огарков, для достижения поставленной цели решены основные семь задач. Поставленные в диссертационной работе цели и задачи соответствуют теме диссертации и решены в полном объеме.
		4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Структура диссертационной работы характеризуется четкой логической связью между ее разделами и научными положениями. Прослеживается единая линия экспериментальных исследований и аналитических выводов, последовательно ведущая к достижению поставленной цели. Каждый раздел органично дополняет предыдущий, формируя целостную картину научных изысканий, направленных на разработку технологии переработки пиритных огарков. Этапы работы, от изучения сырьевых материалов до разработки эффективной технологии и технико-экономических расчетов рентабельности предлагаемого производства, взаимосвязаны и взаимообусловлены, что свидетельствует о системном подходе автора к решению поставленной задачи.
		4.5. Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть;</u> 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов.	В диссертационной работе проведен масштабный критический анализ существующих научно-технических данных. Рассмотрено современное состояние и перспективы переработки техногенных отходов. Выбранные методы решения поставленных целей и задач тщательно обоснованы, определены отличия разрабатываемой технологии от ранее предложенных решений.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u>	Научные результаты и положения являются полностью новыми, что подтверждается публикациями в журналах, входящих в базу данных Scopus и Web of Science:

		2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	- Abikak, E.B.; Kenzhaliyev, B.K. Development of an integrated technology intended to process pyrite cinders using chemical pre-activation. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. 2022, 3, 32–51 https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.178 Q3, процентиль 42; - Kenzhaliyev, B., Surkova, T., Yessimova, D., Baltabekova, Z.; Abikak, Y., Abdikerim, B., Dosymbayeva, Z. Extraction of noble metals from pyrite cinders. ChemEngineering, 2023,7(1), 14. Q2,. https://doi.org/10.3390/chemengineering7010014; - Kenzhaliyev, B.; Surkova, T.; Yessimova, D.; Abikak, Y.; Mukhanova, A.; Fischer, D. On the question of the complex processing of pyrite cinders // Inorganics, 2023. 11(4),171. Q2. https://doi.org/10.3390/inorganics11040171; - Abikak Y., Kenzhaliev B., Akcil A., Dembele S., Koizhanova A., Bakhytuly N., Kassymova G. Optimization of Thiourea-Promoted Gold and Silver Leaching from Pyrite Cinders Using Response Surface Methodology (RSM)//Processes — 2025, 13,1277. Q2. https://doi.org/10.3390/pr13051277
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы, представленные в диссертационной работе, являются новыми и научно обоснованными, что подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями и полученным охранным документом новизны – патента РК на полезную модель. Важность выполненных экспериментов аргументирована детальным анализом полученных данных, которые позволили не только разработать технологическую схему переработки пиритных огарков, но и определить оптимальные методы извлечения благородных металлов путем модификации фазового состава при предварительной химической активации и использования усовершенствованного способа серноокислотно-тиомочевинного выщелачивания в присутствии окислителя.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми, поскольку в результате исследования применены современные методы химической активации минерального сырья, сравнительные испытания извлечения благородных металлов с обоснованием выбора способа переработки, разработана усовершенствованный способ серноокислотно-тиомочевинного выщелачивания пиритных

			огарков в присутствии окислителя и создана математическая модель процесса с оптимизацией технологических параметров .
6.	Обоснованность основных выводов:	Все основные выводы <u>основаны</u> /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы	Все представленные в работе выводы базируются на убедительных экспериментальных данных, соответствующих современным научным представлениям и подтверждающим свою достоверность.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: Положение 1: <u>определены оптимальные условия проведения предварительной химической активации пиритных огарков, при которых происходит фазовая трансформация -концентрация NaHCO_3 - 60 г/дм³, отношение Ж:Т=4:1, продолжительность 60 минут и температура 120 °С</u> 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) <u>нет</u> 7.3 Является ли новыми? 1) <u>да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? 1) <u>да;</u> 2) нет Положение 2: <u>при электрохлоринации с плотностью тока 1000 А/м³ в растворе NaCl (концентрация — 150 г/дм³) в</u>	Положение 1: Данные были получены и подтверждены с применением комплекса методов, включая XRF, XRD, термический анализ, ИК-спектроскопию, мёссбауэровскую спектроскопию и минералогическое исследование, что подтвердило максимальные изменения фазового и химического состава получены в этих условиях. В процессе химической активации количество свободного золота возрастает что указывает об освобождении поверхности минералов от пустой породы. Новизна определяется установлением оптимальных условий проведения предварительной химической активации пиритных огарков для вскрытия минеральной структуры. Для подтверждения доказательности из списка публикаций можно привести статьи: – Abikak, E.B.; Kenzhaliyev, B.K. Development of an integrated technology intended to process pyrite cinders using chemical pre-activation. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. 2022, 3, 32–51 https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.178 . Q3. Положение 2 Данные были получены и подтверждены с применением комплекса методов, таких как, термический анализ, ИК-спектроскопия, химический анализ (ОЭС-ИСП) в экспериментальной части работы. В данном процессе на пульпу, наряду с окислителем, действует также электромагнитное поле, которое способствует активному разрушению кристаллической решетки вмещающих благородные металлы минералов. Из полученных данных также следует, что, используя прием предварительной химической активации пиритных огарков и последующую электрохлоринацию, можно достичь извлечения золота около 90 %. В целом технология является достаточно компактной и может быть применена не

течение 7 часов степень извлечения золота и серебра из пиритных огарков в раствор составляет 89,7 % и 41,1 % соответственно

7.1 Доказано ли положение?

1) доказано

2) скорее доказано

3) скорее не доказано

4) не доказано

7.2 Является ли тривиальным?

1) да;

2) нет

7.3 Является ли новыми?

1) да;

2) нет

7.4 Уровень для применения:

1) узкий;

2) средний;

3) широкий

7.3 Доказано ли в статье?

1) да;

2) нет

Положение 3: при тиосульфатном выщелачивании благородных металлов из пиритных огарков с применением комплексного реагента следующего состава (г/дм³): Na₂SO₃ – 100, Na₂S₂O₃ – 50, CuSO₄ – 2,5, степень извлечения золота составляет 87,2 %, серебра – 75,1 %

7.1 Доказано ли положение?

1) доказано

2) скорее доказано

3) скорее не доказано

4) не доказано

7.2 Является ли тривиальным?

1) да;

2) нет

7.3 Является ли новыми?

1) да;

только к пиритным огаркам, но и к другим техногенным или природным минеральным материалам аналогичного состава. Для подтверждения доказательности из списка публикаций можно привести статьи:

– Kenzhaliyev, B., Surkova, T., Yessimova, D., Baltabekova, Z.; Abikak, Y., Abdikerim, B., Dosymbayeva, Z. Extraction of noble metals from pyrite cinders. ChemEngineering, 2023,7(1), 14. <https://doi.org/10.3390/chemengineering7010014> ; Q2.

Положение 3

Экспериментальные исследования показали целесообразность использования комплексного реагента следующего состава, г/дм³: Na₂SO₃ – 100; Na₂S₂O₃ - 50; CuSO₄ - 2,5 для выщелачивания благородных металлов из пиритных огарков при 60° С и продолжительности процесса 7 часов. Данные были получены и подтверждены химическим анализом с использованием ОЭС-ИСП. Для подтверждения доказательности из списка публикаций можно привести статью: —

– Kenzhaliyev, B.; Surkova, T.; Yessimova, D.; Abikak, Y.; Mukhanova, A.; Fischer, D. On the question of the complex processing of pyrite cinders // Inorganics, 2023. 11(4),171. Q2, percentile 54. <https://doi.org/10.3390/inorganics11040171>.

Положение 4

Новые данные по сернокисотно-тиомочевинному выщелачиванию благородных металлов из пиритных огарков в присутствии окислителя Fe₂(SO₄)₃, доказаны экспериментальными данными и получением патента на изобретение. Экспериментальные данные, полученные в лабораторных условиях, подтверждают высокую эффективность предложенного способа. С использованием методологии поверхности отклика построена модель выщелачивания кека сернокислотного выщелачивания пиритных огарков в сернокисотно-тиомочевинном растворе с окислителем. Установлено, что определяющими параметрами процесса выщелачивания являются концентрация тиомочевины и продолжительность. Сравнительный анализ прогнозируемых и экспериментальных результатов выщелачивания показал достоверность предложенных моделей поверхности откликов. Для подтверждения доказательности из списка

	2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий 7.3 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет <u>Положение 4.: наибольшую эффективность обеспечивает способ сернокислотно-тиомочевинного выщелачивания благородных металлов из пиритных огарков в присутствии окислителя $Fe_2(SO_4)_3$, с оптимизацией параметров методом поверхности отклика с извлечением в раствор золота — 98,31 %, серебра — 88,57 %.</u> 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет 7.3 Является ли новыми? 1) да; 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий 7.3 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет	публикаций можно привести статью: – Abikak Y., Kenzhaliev B., Akcil A., Dembele S., Koizhanova A., Bakhytuly N., Kassymova G. Optimization of Thiourea-Promoted Gold and Silver Leaching from Pyrite Cinders Using Response Surface Methodology (RSM)/Processes 2025, 13,1277. Q2. https://doi.org/10.3390/pr13051277 Использованные методы исследования позволили в полном объеме решить все поставленные задачи и достичь цели. Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют. Все найденные результаты получены с помощью современных методов исследования, на поверенных установках, анализы выполнены в аккредитованных лабораториях. Основные положения, выносимые на защиту, являются новыми. Ранее подобные положения и результаты исследований по теме диссертации не были кем-либо описаны в литературе. Все положения, выносимые на защиту, доказаны публикациями. На основании полученных экспериментальных данных диссертантом опубликованы: в базе данных WoS и Scopus – 4 статьи, в журналах, рекомендованных КОКШНО МНВО РК – 1 статья. Имеется патент на изобретение по теме PhD диссертации: Патент на полезную модель №8178. Способ переработки пиритных огарков / Абикак Е.Б., Кенжалиев Б.К., Гладышев С.В.; опубл. 16.06.2023 г.
--	---	--

8.	Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: <u>1) да</u> 2) нет	Методология обоснована и подробно описана. Данные были получены и подтверждены с применением комплекса методов, включая XRF, XRD, термический анализ, ИК-спектроскопию, мёссбауэровскую спектроскопию и минералогическое исследование. Каждый метод был подробно описан в соответствующем разделе экспериментальной части, что подтверждает корректность и научную обоснованность подхода для достижения поставленных целей.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий <u>1) да</u> 2) нет	Для определения оптимальных условий, а также повышения точности и воспроизводимости результатов, в настоящем исследовании был проведен анализ процесса сернокислотно-тиомочевинного выщелачивания с применением методологии отклика поверхности. Для проведения экспериментов использовалась программа Design Expert 7.0 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, Minnesota, USA), которая позволила построить регрессионную модель, обеспечившую высокую точность прогнозирования результатов.
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): <u>1) да</u> 2) нет	Полученные в ходе работы выводы нашли полное экспериментальное подтверждение. Исследование позволило не только установить все существующие взаимосвязи, но и выявить закономерности, присущие полученным результатам.
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Результаты, полученные в ходе проведенных в диссертации исследований, находят всестороннее отражение в содержании всех разделов работы. Достоверность научных выводов подтверждается их публикацией в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Сделанные в диссертации заключения находятся в согласии с выводами, полученными другими авторами по аналогичной тематике, что свидетельствует об их объективности и обоснованности. В целом, проведенное комплексное исследование и полученные его результаты не вызывают сомнений в своей достоверности.

		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора.	В работе приведены список литературы из 127 наименований. Приведенные источники более чем достаточны для формирования литературного обзора диссертационной работы.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение 1) да <u>2) нет</u>	Основной целью диссертационной работы является разработка технологии получения цветных и благородных металлов при комплексной переработке пиритных огарков. Теоретические исследования, представленные в работе, носят вспомогательный характер и были выполнены для получения дополнительных знаний в области переработки пиритных огарков. Эти теоретические данные послужили основой для разработки технологии получения цветных и благородных металлов при комплексной переработке пиритных огарков. Таким образом, теоретическая часть работы не является самоцелью, а направлена на достижение основной практической задачи.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике <u>1) да</u> 2) нет	Совокупность полученных в диссертационной работе результатов теоретических и экспериментальных исследований наглядно демонстрирует ее ярко выраженный практический характер и ориентацию на решение прикладных производственных задач в области переработки пиритных огарков. Полученные в рамках исследования результаты обладают высоким потенциалом для практического применения, особенно с учетом относительной дешевизны исходных соединений и простоты их модификации. Эти особенности делают разработку технологии комплексной переработки пиритных огарков экономически привлекательной и технологически доступной, также применить к переработке техногенных отходов, близких по составу.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? <u>1) полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Предложенные в работе подходы к разработке технологии получения цветных и благородных металлов при комплексной переработке техногенных отходов – пиритных огарков являются полностью новыми.
10.	10. Качество написания и оформления	Качество академического письма: <u>1) высокое;</u> 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма высокое. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к таким работам и отличается внутренним единством. Разделы диссертационной работы логически объединены и направлены на решение поставленных задач.

11.	Замечания к диссертации	В качестве замечаний можно отметить следующие пункты: 1) Экономическая оценка эффективности разработанного способа состоит в сравнении «стоимость конечной продукции в 4,8 раза превышает стоимость расходных материалов», но при этом не учитывает производственных затрат (трудозатраты, энергозатраты, накладные расходы, амортизация и т.д.). Т.е. нет оценки себестоимости, что не позволяет оценить экономическую целесообразность разработанного технического решения. 2) Выводы по разделу 3: если отделение пустой породы целесообразней проводить магнитной сепарацией, а не ситовой классификацией, то напрашивается необходимость обоснование параметра «напряженность магнитного поля». Мелкие редакционные замечания: - таблица 4: названия столбцов неудачны, вместо «наименование» и «выход», лучше- «фракция, мм» и «содержание».
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)	Научный уровень публикаций докторанта по теме диссертационного исследования подтверждается наличием статей в международных рейтинговых научных журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science. Абиқақ Е.Б. является соавтором 5 научных статей, опубликованных по тематике диссертационного исследования, в трех из которых выступает в качестве первого автора, что свидетельствует о её значительном личном вкладе в проведение научных изысканий, анализ результатов и формулирование научных выводов. Данные публикации отражают основные научные положения, выносимые на защиту, и обеспечивают необходимый уровень апробации полученных результатов.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения	Диссертационная работа Абиқақ Еркежан Баймұратқызы на тему «Разработка технологии получения цветных и благородных металлов при комплексной переработке техногенных отходов – пиритных огарков», выполнена в полном объёме и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам PhD, имеет новизну, актуальность и заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «Химия».

Кандидат технических наук,
профессор, главный научный сотрудник Центра превосходства «Veritas»
НАО «Восточно-Казахстанский технический
университет им. Д. Серикбаева»

Ученый секретарь ВКТУ им. Д. Серикбаева
«___» _____ 2025 г.



Куленова Н.А.

Нурекенова Э.С.