

Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу
Утегеновой Мерусерт Еркиновны
на тему

**«Переработка металлургических шлаков свинцового и медного производств
в условиях перехода к устойчивому развитию металлургической отрасли»**
на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D07202 – «Металлургия»

№ 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: 1) <u>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 рамках приоритетных направлений развития науки Республики Казахстан - «рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции». Область исследования в соответствии с Классификатором научных направлений «Металлургия; Инжиниринг и технологии; Инжиниринг материалов». Результаты исследований, приведенные в диссертационной работе, связаны с научно-исследовательскими проектами, финансируемых Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан: - грантовое финансирование научных исследований AP05134733 «Разработка технологии получения новых керамических материалов на основе отечественного природного сырья и техногенных отходов металлургических предприятий Казахстана» на 2018 – 2020 годы; - грантовое финансирование молодых ученых «Жас ғалым» AP22682987 «Разработка цифрового производства передовых керамических материалов, синтезированных из природного сырья и полупродуктов цветной металлургии» на 2024 – 2026 годы
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта	Результаты диссертационной работы вносят значительный вклад в развитие научных исследований в области комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств. Полученные в ходе экспериментальных исследований данные предоставляют новые знания о составе, структуры и свойствах металлургических шлаков свинцового и медного производств Казахстанских предприятий в сочетании с

			анализом природных алюмосиликатов для оценки их потенциала для синтеза керамических материалов. Предложена технология переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, предусматривающая первоначальное выплывывание остаточных концентраций ценных компонентов, с последующей переработкой и синтез новых керамических материалов многоцелевого назначения из смеси металлургических шлаков и природного сырья пригодных в экологическом катализе. Эти результаты открывают новые направления в области переработки и использования металлургических шлаков.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий</u> 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	Автор данной диссертационной работы продемонстрировал высокий уровень научной самостоятельности, проявив инициативу на всех ключевых этапах исследования. В частности, автором была обоснована актуальность темы и сформулированы конкретные научные задачи, отражающие современные вызовы в области переработки металлургических шлаков. Наличие патента и списка научных публикаций по теме диссертации, включая статьи в рецензируемых изданиях, дополнительно свидетельствует о личном вкладе автора в развитие научного направления и подтверждает самостоятельный характер выполнения работы.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована;</u> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Диссертационная работа отличается высокой степенью актуальности и своевременности. Она посвящена разработке новой технологии, основанной на использовании металлургических шлаков, тем самым решая проблему их утилизации. Необходимость систематического изучения и переработки металлургических шлаков обусловлена их значительным объемом и потенциальной ценностью как вторичного сырья. Это делает исследование и разработку технологий в этом направлении особенно актуальным. Наиболее эффективным будет создание технологической схемы для производства методами порошковой металлургии новых керамических материалов на основе металлургических шлаков с заданными свойствами. Актуальность данной работы также подтверждается публикацией ее результатов в журналах с высоким импакт-фактором, входящих в первый и третий квартили базы данных WoS и Scopus, а также Актами о внедрении.

		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает;</u> 2) частично отражает; 3) не отражает.	Диссертационная работа состоит из 3 глав, все главы между собой логически связаны и отражают тему диссертации. Работа представляет собой завершённый научный труд, посвященный разработке технологии направленной на оптимизацию комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, включающей доизвлечение остаточных концентраций ценных компонентов (Pb, Cu, Zn) и последующее использование шлакового остатка в синтезе новых керамических материалов.
		4.3 Цель и задачи соответствует теме диссертации 1) <u>Соответствуют;</u> 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют.	Поставленные в диссертационной работе цели и задачи соответствуют теме диссертации и решены в полном объеме. Полнота решения поставленных задач достигнута путем исследования состава и структуры металлургических шлаков медного и свинцового производств предприятий Восточного Казахстана, проведения лабораторных опытов гидromеталлургической переработки металлургических шлаков, разработки составов шлакосодержащей шихты, проведения пилотных испытаний полученных шлакосодержащих керамических материалов, использования цифровых технологий для оценки влияния различных показателей и визуализации отдельных стадий процесса.
		4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Диссертация представляет собой комплексное исследование, направленное на переработку металлургических шлаков с использованием методов гидromеталлургии и порошковой металлургии. Работа логически выстроена: на первом этапе обоснована актуальность темы и рассмотрены современные подходы в рамках концепции круговой экономики. Далее проведён аналитический обзор, выявивший перспективность выщелачивания и последующего использования шлаковых остатков для синтеза керамических материалов. На втором этапе разработана методология экспериментальных исследований, охватывающая как анализ состава шлаков (рентгенофазовый, термогравиметрический, микроскопические методы), так и практическую реализацию процессов выщелачивания и синтеза керамики. Третий этап направлен на получение, исследование и апробацию новых керамических материалов. Установлена взаимосвязь состава, структуры и свойств полученных образцов. Цифровые методы использованы для углублённого анализа, а в

			закключение дана технико-экономическая оценка предлагаемой технологии. Таким образом, все этапы исследования логично связаны между собой и обеспечивают научную и практическую целостность работы — от теоретического обоснования до получения прикладного результата.
		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.	Предложенные автором инновационные решения (принципы, методы) обоснованы и оценены в контексте существующих технологий. В работе выполнен критический анализ литературных источников, посвященных состоянию металлургической отрасли Казахстана, который выявил, что несмотря на развитую металлургическую промышленность страны, проблема переработки металлургических шлаков остается актуальной. В частности, значительный объем исторически накопленных и текущих шлаков требует эффективных методов их использования. Современные технологические подходы позволяют внедрять шлаки в производство новых материалов; однако в Казахстане, несмотря на наличие значительных запасов полезных ископаемых и развитую металлургическую промышленность, исследования в области переработки шлаков находятся на начальном этапе, особенно в отношении медных и свинцовых производств. На основе данного анализа автор предложил провести исследования металлургических шлаков для поиска способов их интеграции в деятельность существующих предприятий. На примере предприятий Восточного Казахстана обоснована возможность использования лежалых и текущих шлаков свинцового и медного производств не только для снижения экологической нагрузки, но и для получения новых керамических материалов. Такой подход соответствует задачам перехода к модели круговой экономики и способствует обеспечению устойчивого развития промышленного комплекса.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Научные результаты являются полностью новыми. К ним относятся: - впервые проведено комплексное исследование состава и структуры металлургических шлаков свинцового и медного производств Восточного Казахстана в сочетании с анализом природных алюмосиликатов для оценки их потенциала в синтезе керамических материалов; - впервые выявлены закономерности изменения химического и

		минералогического составов техногенного и природного сырья, а также синтезированных керамических материалов на их основе в зависимости от температуры спекания; - впервые разработана технология синтеза шлаксодержащих керамических материалов из смеси отечественного техногенного и природного сырья, пригодных для эффективного использования в экологическом катализе; - впервые выявлены закономерности взаимодействия компонентов шлакового остатка (SiO_2, Al_2O_3, Fe_xO_y и др.) от выщелачивания свинцового и медного шлаков с природными алюмосиликатами в условиях температурной обработки (вплоть до 1000°C) с образованием прочных (45-75 МПа на образец), термостабильных керамических систем пригодных для использования в качестве носителей катализаторов и/или катализаторов; - предложена новая технологическая схема комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, предусматривающая первоначальное выщелачивание остаточных концентраций ценных компонентов, с последующей переработкой и синтез новых керамических материалов многоцелевого назначения из смеси металлургических шлаков и природного сырья в виде гранул, таблеток, блоков, леги-кирпича, плитки.
	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 диссертационной работы являются полностью новыми и обладают высокой научной и практической значимостью. В рамках диссертационного исследования предложена технологическая схема комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств с получением керамических материалов многоцелевого назначения. Разработанная технология предусматривает последовательное выщелачивание остаточных концентраций ценных компонентов (Pb, Zn, Cu) с последующей переработкой и синтезом новых керамических материалов из смеси металлургических шлаков и природного сырья. Такой подход позволяет не только повысить эффективность использования техногенного сырья, но и значительно снизить экологическую нагрузку за счет уменьшения объемов образующихся шлаков. Предложенные технологические решения представляют собой оригинальный вклад в развитие круговой экономики и

			способствуют обеспечению устойчивого развития промышленного комплекса. Полученные результаты обладают практической ценностью для промышленного сектора Казахстана и могут быть использованы для внедрения предложенных методов на предприятиях ТОО «East Mineral Resources» и ТОО «Казцинк».
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: <u>1) полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Результаты исследования вносят значительный вклад в развитие технологий переработки металлургических шлаков и синтеза новых композитных материалов. Исследования представляют практическую ценность для снижения затрат на утилизацию, транспортировку, хранение техногенных отходов металлургических предприятий Казахстана и уменьшения потребности в первичном природном сырье, снижение себестоимости выпускаемой продукции для керамической и строительной промышленности, что вносит вклад в достижения круговой экономики в металлургической отрасли.
6.	Обоснованность основных выводов:	Все основные выводы <u>основаны</u> /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы	Выводы, приведенные в диссертации, сделаны на основе результатов проведенного комплекса экспериментальных физико-химических исследований, и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в металлургии.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: Положение 1: <u>Результаты исследования составов и структуры металлургических шлаков свинцового и медного производств Восточного Казахстана и отечественных природных алюмосиликатов (цеолиты и бентониты)</u> 7.1 Доказано ли положение? <u>1) доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; <u>2) нет</u> 7.3 Является ли новыми?	Все 7 положений выносимых на защиту, доказаны экспериментально с применением передовых методов исследования: - положение 1: Проведено комплексное исследование (методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопией, дифференциально – термического анализа, оптической электронной микроскопией и др.) состава, структуры и свойств металлургических шлаков свинцового и медного производств Восточного Казахстана в сочетании с анализом природных алюмосиликатов для оценки их потенциала в синтезе керамических материалов. - положение 2: Представлены результаты сильноокислотного выщелачивания металлургических шлаков свинцового и медного производств. Изучены термодинамические и кинетические закономерности процесса выщелачивания Pb, Cu и Zn из свинцового и медного шлаков в HCl и обеспечена степень извлечения в продуктивный раствор Zn 73-89 %, Pb 24 - 31 %, Cu 76-77 %.

	<u>1) да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <u>3) широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? <u>1) да;</u> 2) нет Положение 2: <u>Результаты лабораторных испытаний гидрометаллургической переработки металлургических шлаков</u> 7.1 Доказано ли положение? <u>1) доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; <u>2) нет</u> 7.3 Является ли новыми? <u>1) да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <u>3) широкий</u> 7.3 Доказано ли в статье? <u>1) да;</u> 2) нет Положение 3: <u>Результаты влияния варьирования содержания компонентов шихты, исследования фазовых превращений, значения влажности и температуры спекания на структуру и свойства шлакосодержащих керамических материалов</u> 7.1 Доказано ли положение? <u>1) доказано</u>	- положение 3: Выявлены закономерности изменения химического и минералогического составов техногенного и природного сырья, а также синтезированных керамических материалов на их основе в зависимости от температуры спекания. Определено, что для получения термически стабильного и прочного шлакосодержащего керамического материала количество металлургического шлака в шихте можно варьировать в интервале от 10 до 30 масс.%; - положение 4: Результаты пилотных испытаний прочностных характеристик шлакосодержащих керамических материалов подтвердили формирование прочных керамических систем с прочностными характеристиками в диапазоне 45-75 МПа на образце; - положение 5: Обоснована перспективность использования цифровых технологий для моделирования, визуализации и прогнозирования свойств синтезированных шлакосодержащих керамических материалов, позволяющих сократить количество практических экспериментов по синтезу керамики и определить оптимальные параметры синтеза шлакосодержащих керамических материалов с заданными свойствами; - положение 6: Обоснована технологическая схема комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, предусматривающая первоначальное выщелачивание остаточных концентраций ценных компонентов, с последующей переработкой и синтезом новых керамических материалов; - положение 7: Установлено, что исследованные металлургические шлаки могут быть использованы в качестве дополнительного компонента к цеолит-бентонитовой основе для создания шлакосодержащего керамического носителя для катализатора и/или катализатора эффективного для окислительной конверсии CO и/или CH₄ до CO₂ и H₂O (α конверсии 50-90%). Проведена технико-экономическая оценка полученных шлакосодержащих керамических материалов в экологическом катализе. Использованные методы исследования полностью соответствовали поставленным задачам и позволили достигнуть поставленных целей. В диссертационной работе отсутствуют тривиальные элементы. Все полученные результаты были получены с помощью
--	--	--

	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 4: <u>Результаты пилотного испытания прочностных характеристик шлакосодержащих керамических материалов</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	современных методов исследования, на проверенном оборудовании. 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: 6 научных работ в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных КОКСОН МНВО РК, в том числе: в базе данных WoS и Scopus – 6 статьи, в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МОН РК – 3 статьи. Результаты работы апробированы на 7 международных научно-практических конференциях. Имеется патент на изобретение по теме PhD диссертации: Патент на полезную модель № 5394 РК от 25.09.2020, также подан патент на изобретение рег. номер заявки 2024/0968.1, от 11.11.2024.
--	---	---

Положение 5: Результаты математического и компьютерного моделирования процесса синтеза шлакосодержащих керамических материалов

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 6: Предложена технология по оптимизации комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств

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 7: <u>Результаты апробирования и технико-экономической оценки полученных шлакосодержащих керамических материалов в экологическом катализе</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	
8.	Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да 2) нет	Выбор методологии проводился с учетом свойств объектов исследования. На основании выбранной методологии получены следующие технологические результаты: - показана принципиальная возможность комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, предусматривающая первоначальное выщелачивание остаточных концентраций ценных компонентов, с последующей переработкой и синтез новых керамических материалов;

			- показана принципиальная возможность синтеза шлаксодержащих керамических материалов из смеси отечественного техногенного и природного сырья, пригодных для эффективного использования в экологическом катализе.
	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		В работе использован комплексный подход, объединивший применение современных методов исследования и методов обработки и демонстрации научных данных.
	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		Теоретические выводы, модели и установленные в диссертационной работе взаимосвязи, и закономерности были получены на основе комплексных экспериментальных исследований с применением следующих методов: - комплекс физико-химических методов: рентгеноструктурный анализ (XRD), методы одновременного термического анализа (термогравиметрия / дифференциальный термический анализ) (TGA / DTA), оптическая микроскопия (OM) и растровая электронная микроскопия (SEM); - пакет программного обеспечения HSC 9 для расчета термодинамических реакций и построение диаграмм металлургических процессов; - пакет программного обеспечения SolidWorks Flow Simulation для моделирования процесса экструзии. Таким образом, широкий спектр аналитических методов, примененных в данном исследовании, позволил получить достоверные экспериментальные данные, которые легли в основу теоретических выводов и установленных закономерностей.
	8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.		Полученные в ходе исследования результаты и выводы отражают содержание всех разделов и представлены в публикациях основных научных результатов в рецензируемых отечественных и международных научных изданиях. Достоверность научных выводов работы подтверждаются согласованностью с результатами независимых исследований и выводами, полученными другими авторами.

		8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора.	В работе приведен список литературы из 154 наименования. 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> 9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике <u>1) да</u> 2) нет	Целью диссертационной работы является разработка технологии направленной на оптимизацию комплексной переработки металлургических шлаков свинцового и медного производств, включающей доизвлечение остаточных концентраций ценных компонентов (Pb, Cu, Zn) и последующее использование шлакового остатка в синтезе новых керамических материалов многоцелевого назначения для перехода к устойчивому развитию металлургической отрасли. Теоретические исследования, представленные в работе, были направлены на выявление закономерности взаимодействия компонентов шлакового остатка (SiO_2, Al_2O_3, Fe_xO_y и др.) от выщелачивания свинцового и медного шлаков с природными алюмосиликатами для использования в качестве дополнительного компонента к цеолит-бентонитовой основе для создания шлакосодержащего керамики <i>Вопросы: Что послужило основанием выбора металлургических шлаков для использования в экологическом катализе? На каком основании для переработки шлаков было выбрано выщелачивание с помощью соляной кислоты?</i> Комплекс теоретических и экспериментальных результатов, полученных в ходе диссертационного исследования, убедительно демонстрирует его высокую практическую значимость и открывает широкие перспективы для практического применения разработанных решений. Проведенные лабораторные опыты гидрометаллургической переработки металлургических шлаков для доизвлечения остаточных количеств тяжелых цветных металлов (Pb, Cu, Zn) позволили разработать составы шлакосодержащей шихты (на основе шлакового остатка после гидрометаллургической переработки) для получения новых керамических материалов многоцелевого назначения методами порошковой металлургии, изготовить опытную партию новых шлакосодержащих керамических материалов и провести пилотные испытания данных материалов. Таким образом, диссертационная работа носит ярко выраженный прикладной характер, и существует

		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	высокая вероятность внедрения ее результатов в производственную практику. Практические рекомендации являются новыми и обладают высокой прикладной значимостью. Результаты исследования вносят значительный вклад в развитие технологий переработки металлургических шлаков и синтеза новых композитных материалов. Эффективность предложенной технологии подтверждена лабораторными и укрупненными пилотными испытаниями. <i>Вопрос: Какие фазовые превращения происходят с вашими материалами при спекании до 1000°C?</i>
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 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 данной работы логически объединены и направлены на решение поставленных задач. <i>Незначительное количество опечаток не снижает качество диссертационной работы</i>

Диссертационная работа Утегеновой М.Е., на тему «Переработка металлургических шлаков свинцового и медного производств в условиях перехода к устойчивому развитию металлургической отрасли», выполнена в полном объеме и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам PhD, имеет новизну, актуальность и заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07202 – «Металлургия».

Доктор технических наук, заведующий лабораторией
пиromеталлургии тяжёлых цветных металлов,
АО «Институт металлургии и обогащения»
ПАО КазПИТУ им. К.И.Сатпаева.

Квятковский С.А.

