

**Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу Асылханқызы Айгерім на тему «Разработка технологии получения калийных удобрений из карналлитовых руд месторождения Челкар», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072000 – Химическая технология неорганических веществ**

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p><b><u>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</u></b></p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p>	<p>Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ кафедры «Химическая технология неорганических веществ» ЮКУ имени М. Ауэзова по госбюджетным НИР на 2016-2020 гг. Б-16-02-03 «Исследования по созданию альтернативно-инновационных технологий обогащения сырья и получения продуктов синтеза неорганических соединений из природных рудно-минеральных ресурсов и техногенных отходов различных отраслей промышленности» и на 2021-2025 гг. Б-21-03-02 «Разработка новых перспективных технологий и усовершенствование традиционных технологий получения неорганических продуктов, экологически безопасных удобрений и стимуляторов роста растений на основе минерального сырья и техногенных отходов».</p>

		<p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</p>	
2.	<p>Важность для науки</p>	<p>Работа <b>вносит</b>/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта</p>	<p>Диссертационная работа вносит значительный вклад в развитие науки. Ее содержание и результаты наглядно свидетельствуют об актуальности и важности исследования. На сегодняшний день рост численности населения планеты и повышение требований к качеству сельскохозяйственной продукции обуславливает необходимость увеличения производства минеральных удобрений, в том числе калийных удобрений, которые способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Особенно большой интерес представляет сульфат калия как ценное бесхлорное удобрение, которое вносится под культуры, не переносящие избыток хлора. В Казахстане запасы калийных руд составляют более 6 млрд. тонн, которые представлены четырьмя месторождениями, однако добыча и переработка калийного сырья до сих пор отсутствует. В связи с этим организация отечественного производства калийных удобрений является важным направлением развития рынка минеральных удобрений. Одно из самых крупнейших - разведанное месторождение Челкар, находящееся в Западно-Казахстанской области, еще</p>

			недостаточно изучено и не начато его промышленное освоение. Ввиду отсутствия научных исследований данного природного сырья актуальной задачей является поиск эффективных методов получения бесхлорных калийных удобрений, внедрение которых позволит спроектировать производство и покрыть потребности в калийных удобрениях как внутреннего, так и внешнего рынка.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <b>Высокий;</b> 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Согласно приведенному описанию выполненных работ, все результаты получены докторантом самостоятельно. Поэтому есть основания полагать о высокой квалификации подготовки докторанта.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <b>Обоснована;</b> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность диссертации четко обоснована, так как в Казахстане отсутствует производство калийных удобрений на основе отечественного сырья. Это вызывает высокий спрос на калийные соли, которые приходится завозить из соседних стран. Учитывая огромные запасы калийных руд в Казахстане, в частности, карналлитового месторождения Челкар, вопросы исследования состава руды и эффективных способов ее переработки в калийные и сложные удобрения имеют важное значение для импортозамещения и развития собственной казахстанской калийной промышленности.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <b>Отражает;</b> 2) Частично отражает; 3) Не отражает	Диссертационная работа содержит пять глав, введение и заключение. В первой главе подробно обоснована актуальность темы исследования на основе проведенного аналитического обзора и приведены известные методы переработки природных калийных солей. Вторая глава описывает методы исследования обогащения и последующей

			<p>переработки карналлитовой руды. В третьей главе приведены результаты анализа состава калийной руды, процесса ее обогащения методом неполного растворения и математической обработки экспериментальных данных. Четвертая глава полностью посвящена исследованию различных методов переработки обогащенной калийной руды в калийное удобрение. Пятая глава содержит результаты испытаний технологии получения калийных и сложных калийно-азотно-магниевых удобрений из карналлитовой руды месторождения Челкар. Таким образом, содержание диссертации полностью отражает тему диссертации.</p>
		<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:  <b>1) <u>соответствуют</u></b>;  2) частично соответствуют;  3) не соответствуют</p>	<p>Целью диссертационной работы является разработка технологии получения безбалластных калийных удобрений путем переработки карналлитовых руд месторождения Челкар. Задачи диссертации направлены на достижение этой цели. Цель и задачи полностью соответствуют теме диссертации.</p>
		<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:  <b>1) <u>полностью взаимосвязаны</u></b>;  2) взаимосвязь частичная;  3) взаимосвязь отсутствует</p>	<p>Все разделы и положения диссертации характеризуются полной взаимосвязанностью между собой, изложенные научные результаты также логически взаимосвязаны, а сама работа хорошо структурирована. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений.</p>
		<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p>	<p>Автором предложен оптимальный режим отмывки калийной руды от солей натрия, при котором достигается максимальная степень обогащения руды с минимальными потерями калия с промывной водой и с минимальным вводом воды в процесс обогащения; определена эффективность применения</p>

		<p><b>1) критический анализ есть;</b>  2) анализ частичный;  3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</p>	<p>двукратной отмывки руды; установлен оптимальный режим разложения обогащенной калийной руды, обеспечивающий полное извлечение калия в жидкую фазу; На основании графического расчета процесса по диаграмме растворимости в системе <math>K_2SO_4</math>-<math>MgSO_4</math>-<math>H_2O</math> обоснован режим кристаллизации солей из азотнокислого раствора изотермическим методом и путем сушки аммонизированного раствора с получением калийно-магниево-сульфатного и калийно-азотно-магниевого безбалластного удобрения; обоснован режим фильтрования азотнокислотной суспензии с целью получения крупных хорошо фильтрующихся кристаллов гипса и минимального количества воды на его отмывку.</p> <p>Автором проведен критический анализ результатов исследования по сравнению с методами, предложенными для переработки калийных руд других месторождений. Результаты исследований опубликованы в отечественных и зарубежных научных журналах, входящих в базу данных Scopus, материалах международных конференций, получен 1 патент на полезную модель.</p>
5.	Принцип новизны научной	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?  <b>1) полностью новые;</b>  2) частично новые (новыми являются 25-75%);  3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Полученные научные результаты и положения, выносимые на защиту, являются полностью новыми:</p> <p>Получены новые данные о количественном минералогическом составе калийной соли месторождения Челкар, сведения о котором отсутствуют в опубликованных научных работах. Установлено, что, кроме калийных минералов карналлита и глазерита, в составе калийного сырья месторождения Челкар также присутствуют примеси гипса и галита; установлено, что обогащение природной калийной руды путем неполного растворения является эффективным методом вывода из</p>

			<p>состава сырья хорошо растворимых солей натрия, которые являются примесным компонентом в калийных удобрениях. Установлен оптимальный режим отмывки руды, при котором достигается максимальная степень обогащения руды с минимальными потерями калия с промывной водой и с минимальным вводом воды в процесс; статистической обработкой экспериментальных данных обогащения руды по калию путем расчета <math>t</math>-критерия Стьюдента получены уравнения регрессии со значимыми коэффициентами. Термодинамическим анализом реакции сульфата калия с азотной кислотой определены значения энергии Гиббса, близкие к нулю, что характеризует состояние системы как близкое к равновесному и не говорит о термодинамическом запрете реакции. Исследована кинетика азотнокислотного разложения обогащенной карналлитовой руды; определен порядок протекающих реакций методом Вант-Гоффа. Рассчитанное значение энергии активации реакции взаимодействия сульфата калия с азотной кислотой, равное 41,37 кДж/моль характеризует внутренне-кинетическую область протекания процесса, на основании чего выбрана температура разложения обогащенной руды.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?  <b>1) полностью новые;</b>  2) частично новые (новыми являются 25-75%);  3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Выводы диссертации являются полностью новыми. Они подтверждены публикациями в научных журналах, входящих в базу данных Scopus и в научных изданиях, рекомендуемых ККСОН МОН РК. Обоснована эффективность обогащения природной руды по калию методом неполного растворения. Установлен оптимальный режим отмывки руды от солей натрия в течение 20 минут при массовом соотношении вода/соль, равном 1/2, при котором</p>

			<p>достигается максимальная степень обогащения руды. Получены математические модели изучаемого процесса в результате статистической обработки экспериментальных данных. Изучена кинетика разложения калийной руды месторождения Челкар, определен порядок протекающих реакций методом Вант-Гоффа. Определена внутренне-кинетическая область протекания процесса на основе рассчитанного значения энергии активации реакции взаимодействия сульфата калия с азотной кислотой, равного 41,37 кДж/моль, на основании чего выбрана температура разложения обогащенной руды. Установлены оптимальные параметры азотнокислотного разложения калийного сырья - время процесса 30 минут, температура 50°C, концентрация азотной кислоты – 20%. Предлагаемая технология переработки карналлитовой руды месторождения Челкар прошла апробацию в ходе укрупненных лабораторных испытаний, которые показали воспроизводимость экспериментальных научных данных.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:  <b>1) полностью новые;</b>  2) частично новые (новыми являются 25-75%);  3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Предлагаемые технологические решения являются полностью новыми и научно обоснованными. На основании установленных оптимальных параметров процессов разработана технология переработки карналлитовой руды месторождения Челкар в безбалластные бесхлорные калийные и комплексные минеральные удобрения, определены расходные коэффициенты по сырью и рассчитан материальный баланс разложения обогащенной калийной руды. Предложен эффективный режим фильтрования азотнокислотной суспензии и отмывки осадка гипса. Высушенный экологически чистый гипс успешно прошел</p>

			<p>испытания на соответствие его нормально твердеющему гипсовому вяжущему (индекс Б) марки Г-2 Б. Преимуществом разработанной технологии является отсутствие твердых и жидких отходов производства, возможность комплексного использования всех компонентов природной калийной соли месторождения Челкар. Показана возможность получения из промывной воды обогащения чистого хлорида натрия, который может быть использован в качестве пищевой выварочной соли. Предложенная технологическая схема является гибкой и может использоваться как для получения одного, так и двух видов удобрений. На разработанную технологию получен патент на полезную модель «Способ переработки калийных руд с получением сульфата калия».</p>
6	<p>Обоснованность основных выводов</p>	<p>Все основные выводы <b>основаны</b>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)</p>	<p>Полученные научные результаты, сформулированные выводы имеют как теоретическую, так и практическую значимость и выполнены на современных исследовательских приборах. Достоверность представленных результатов подтверждена расчетом суммарной стандартной неопределенности и абсолютной суммарной погрешности измерения состава жидкой и твердой фаз. На основании этого можно сделать вывод, что поставленная докторантом цель достигнута, а задачи полностью выполнены. Выводы построены логически и с научной точки зрения могут быть признаны обоснованными.</p>
7	<p>Основные положения, выносимые на защиту</p>	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли</p>	<p>Соискатель выносит на защиту 6 основных положений: 1. Химический и минералогический состав карналлитовой руды месторождения Челкар; обогащение природной руды по калию методом неполного растворения. Положение доказано экспериментальными данными,</p>



		<p>положение?</p> <p>1) <b><u>доказано</u></b>;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p>	<p>изложенными в публикации в журнале «Вестник КБТУ, 2020г.», рекомендованном ККСОН МОН РК, а также в трудах международных научных конференций.</p> <p>2. Математическая обработка экспериментальных данных по отмывке сырья от хлорида натрия, определение значимых коэффициентов уравнений регрессии.</p> <p>Подтверждено результатами экспериментальных исследований, опубликованными в журнале «RASAYAN Journal of Chemistry, 2022г.», входящем в БД Scopus (Q3, перцентиль 44%).</p> <p>3. Кинетика азотнокислотного разложения обогащенной карналлитовой руды месторождения Челкар ; расчет энергии Гиббса взаимодействия сульфатов калия и магния с азотной кислотой;</p> <p>Подтверждено результатами теоретических исследований, опубликованных в журнале «Вестник Карагандинского университета, 2021г.», рекомендованном ККСОН МОН РК.</p> <p>4. Фильтрующие свойства нерастворимого остатка и режим отмывки гипса в процессе разложения отмытой калийной руды раствором азотной кислоты; испытания гипса на соответствие его нормально твердеющему гипсовому вяжущему.</p> <p>Положение доказано экспериментальными данными, изложенными в публикации в журнале «Комплексное использование минерального сырья, 2022г.», рекомендованном ККСОН МОН РК.</p> <p>5. Процессы растворения и кристаллизации калийных солей и калийно-магниевых солей для получения водорастворимого бесхлорного безбалластного удобрения.</p>
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

			<p>Подтверждено результатами экспериментальных исследований, опубликованных в журнале «Вестник Карагандинского университета, 2021г.», рекомендованном ККСОН МОН РК.</p> <p>6. Технология переработки карналлитовой руды месторождения Челкар в калийные и калийно-азотно-магниевые удобрения.</p> <p>Положение подтверждено патентом на полезную модель «Способ переработки калийных руд с получением сульфата калия».</p>
		<p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; <b>2) нет</b></p>	<p>Все положения, выносимые на защиту, не содержат тривиальных элементов и имеют большую научную новизну и практическую значимость.</p>
		<p>7.3 Является ли новым? <b>1) да;</b> 2) нет</p>	<p>Основные положения, выносимые на защиту, являются новыми, они подтверждены публикациями в научных журналах, входящих в базу данных Scopus и в научных изданиях, рекомендуемых ККСОН МОН РК.</p>
		<p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <b>3) широкий</b></p>	<p>Уровень для применения всех положений, представленных на защиту, является широким. Разработанная технология может стать основой для создания проекта производства калийных и калийно-магниевых удобрений из карналлитовой руды месторождения Челкар, которое в Казахстане отсутствует.</p>
		<p>7.5 Доказано ли в статье? <b>1) да;</b> 2) нет</p>	<p>Результаты исследования отражены в 10 публикациях: 3 из которых изданы в журналах, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан; 1 - в журнале, входящем в международную базу данных Scopus; 3 - в трудах международных научно-практических конференциях; 3 - в</p>

			других научных изданиях.
8	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана <b>1) да;</b> <b>2) нет</b>	Представленное исследование выполнено соискателем с использованием инструментальных методов и современных аналитических приборов. Выбранные методы исследования подробно описаны во второй главе диссертации. Методология диссертационной работы основана на широко известных и апробированных научных подходах, при этом характеризуется высокой степенью новизны в сравнении с известными отечественными и зарубежными аналогами.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: <b>1) да;</b> <b>2) нет</b>	Для выполнения основных задач, поставленных в исследовании, использованы химические и инструментальные методы исследования и анализа. Отмывку калийной руды от солей натрия осуществляли методом неполного растворения. Определение оптимальных условий отмывки руды изучали путем двух- и трехкратной промывки маточным раствором. Содержание калия и натрия в изучаемых системах определяли с помощью атомно-абсорбционного спектрометра Квант-2 и пламенно-фотометрического анализатора ПФА-378. Анализ сырья и продуктов выполнен методами спектрального микроскопического, рентгенографического, дифференциально-термического и ИК-спектроскопического исследований. Рентгенографический полуколичественный анализ проб твердых фаз проводился на аппарате D8 Advance (Bruker). Седиментационный анализ нерастворимого остатка выполнен с помощью фотоседиментометра ФСК-6. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена в программе Statistica 10, значимость коэффициентов регрессии определена путем расчета $t$ -критерия Стьюдента.

		<p>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):</p> <p>1) <b>да;</b> 2) нет</p>	<p>Теоретические выводы и модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальными исследованиями. Математической обработкой экспериментальных данных обогащения руды по калию определена статистическая значимость коэффициентов уравнения регрессии путем расчета <math>t</math>-критерия Стьюдента для уравнений с корреляционным коэффициентом, близким к 1. Математические модели адекватно описывают процесс и могут быть использованы для оперирования процессом обогащения калийной руды и прогноза данных зависимостей в различных условиях процесса. Расчет порядка реакции, константы скорости и энергии активации реакции взаимодействия сульфата калия с азотной кислотой позволил установить внутренне-кинетическую область протекания процесса и определить режим азотнокислотного разложения обогащенной калийной руды.</p>
		<p>8.4 Важные утверждения <b>подтверждены</b>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p>	<p>Выведенные зависимости и закономерности протекания процессов обогащения и последующей переработки калийных руд подтверждены ссылками на достоверную научную литературу.</p>
		<p>8.5 Используемые источники литературы <b>достаточны</b>/не достаточны для литературного обзора</p>	<p>При выполнении диссертации было использовано 104 литературных источника, качество которых не вызывают сомнения. Использованных источников достаточно для литературного обзора по направлению исследования.</p>
9	Принцип практической ценности	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p>1) <b>да;</b></p>	<p>Диссертационное исследование имеет большое теоретическое значение. Получены новые данные о количественном минералогическом составе калийной соли промышленного</p>

		<p>2) нет</p>	<p>пласта месторождения Челкар, сведения о котором отсутствуют в научных публикациях. Установлен оптимальный технологический режим обогащения карналлитовой руды, подтвержденный полученными математическими моделями в виде уравнений регрессии со значимыми коэффициентами. Кинетический и термодинамический анализ азотнокислотного разложения обогащенной руды позволил установить область протекания процесса и основные параметры переработки. На основании графического расчета процесса по диаграмме растворимости в системе <math>K_2SO_4</math>-<math>MgSO_4</math>-<math>H_2O</math> обоснован режим кристаллизации калийно-магниевых солей из азотнокислого раствора изотермическим методом. Результаты научного исследования внедрены в учебный процесс в содержание лекционного курса «Химическая технология неорганических веществ», что подтверждено актом внедрения НИР №369 от 17.05.2021г.</p>
		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:  <b>1) да;</b>  <b>2) нет</b></p>	<p>Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике, так как:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- на основании результатов исследования разработана технология переработки карналлитовой руды месторождения Челкар в калийные и калийно-азотно-магниевые водорастворимые бесхлорные удобрения: установлен оптимальный режим обогащения калийной руды, азотнокислотного разложения обогащенной руды, обеспечивающий полное извлечение калия в жидкую фазу, и кристаллизации солей из азотнокислого раствора;</li> <li>- предложен эффективный режим фильтрования суспензии, полученной разложением отмытой калийной руды азотной</li> </ul>

			<p>кислотой, для получения крупных хорошо фильтрующихся кристаллов гипса и для ввода минимального количества воды на его отмывку; полученный гипс успешно прошел испытания на соответствие его нормально твердеющему гипсовому вяжущему (индекс Б) марки Г-2 Б, который может быть использован как вяжущее в строительной индустрии.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разработана технологическая схема производства калийных и калийно-магниевых удобрений и определены расходные коэффициенты по сырью; на предлагаемую технологию получен патент на полезную модель «Способ переработки калийных руд с получением сульфата калия»;</li> <li>- преимуществом разработанной технологии является отсутствие твердых и жидких отходов производства, возможность комплексного использования всех компонентов природной калийной соли. Схема является гибкой и может быть трансформирована для получения только одного вида азотно-калийного водорастворимого удобрения.</li> </ul>
		<p>9.3 Предложения для практики являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>полностью новые;</b></li> <li>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%)</li> </ol>	<p>Предложения для практики являются полностью новыми. Разработанная технология может служить основой для создания проекта производства калийных и калийно-магниевых удобрений из карналлитовой руды месторождения Челкар, которое в Казахстане отсутствует. Таким образом, результаты диссертационного исследования, показывают существенную практическую новизну и отличный потенциал для дальнейшего использования.</p>
10	<p>Качество написания и оформления</p>	<p>Качество академического письма:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b>высокое;</b></li> <li>2) среднее;</li> </ol>	<p>Диссертационная работа характеризуется высоким качеством академического письма, написана грамотным научным языком. Оформление работы соответствует общим требованиям, предъявляемым к диссертационным работам.</p>

		3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертация представляет собой законченную научную работу, которая имеет теоретическую и практическую значимость.
--	--	---------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Вывод:**

На основании вышеизложенного считаю диссертацию Асылханқызы Айгерім законченным научным трудом, рекомендую работу к защите и ходатайствую перед Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования РК для присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072000 - Химическая технология неорганических веществ.

Ассоциированный профессор кафедры  
«Химия, химическая технология и экология»  
Алматинского технологического университета,  
к.т.н., доцент



С.О. Ахметова

Қолы  
Подпись Ахметова С.О.  
КБББ куәландыған  
Заверено лич. ОУП  
«15» 11 2022 ж.т.