



ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 1

Расширенного заседания кафедры

«Кафедра Metallургии и обогащения полезных ископаемых»

Горно-металлургического института имени О.А. Байконурова

г. Алматы

«14» Марта 2025 г.

Председатель: заведующий кафедрой «Metallургии и обогащения полезных ископаемых», PhD, ассоциированный профессор Барменшинова Мадина Богембаевна.

Секретарь: доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Metallургии и обогащения полезных ископаемых» Мамырбаева Кульзира Калдыбековна.

Присутствовали (в соответствии с Положением о Диссертационном совете, не менее 2/3 членов кафедры): всего присутствовало 27 членов профессорско-преподавательского состава кафедры: Присутствовали: Барменшинова М.Б. — зав. каф., к.т.н., ассоц.проф.; профессора: канд. тех. наук, PhD, ассоц.профессор Чепуштанова Т.А.; к.т.н, доцент Шаутинов М.Р., к.т.н, доцент Телков Ш.А., к.т.н, профессор Досмухамедов Н.К; к.т.н., доцент Баимбетов Б.С; доктор PhD, ассоц.проф. Байгенженов О.С. ассоциированные профессора: к.т.н. Усольцева Г.А. к.т.н. Турысбекова Г.С., доктор PhD Мамырбаева К.К., к.т.н, ассоц.проф. Молдабаева Г.Ж., доктор PhD, ассоц.проф. Мотовилов И.Ю., доктор PhD Койшина Г.М., ст. преподаватели: к.т.н Кобыратбекова С.С., доктор PhD Мамбеталиева А.Р., доктор PhD Тажиев Е.Б., доктор PhD Джуманкулова С.К., доктор PhD Даруеш Г.С., доктор PhD Меркибаев Е.С., Алтмышбаева А.Ж., Куандыкова А.Н.; преподаватель: магистр Акказина Н.Т., профессор-исследователи: д.т.н., профессор Алыбаев Ж.А., к.т.н., Бектай Е.К., Таймасова А.Н., вед. инженер каф.МиОПИ.

УВП: Султанбаева А.Б., Әділжан Ж., Омар Р., Акбаров М.С., Булгучева Д. М., Тулегенов А.С.

Со стороны АО «Института металлургии и обогащения»: Мамаева А.А. секретарь диссертационного совета, к.ф.-м.н., ассоциированный профессор; Койжанова А.К. заведующая лабораторией спецметодов гидрометаллургии имени Б.Б. Бейсембаева, к.т.н.; Квятковский С.А. заведующий лабораторией тяжелых цветных металлов, д.т.н., профессор.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

Обсуждение диссертационной работы PhD-докторанта кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых» Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича на тему «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургическая инженерия».

Научные консультанты:

- доктор PhD, кандидат технических наук, профессор Чепуштанова Т.А., КазННТУ имени К.И. Сатпаева
- доктор PhD, профессор Николоски А., Университет Мёрдока, г. Перт, Австралия

Рецензенты:

- Усольцева Г.А. - к.т.н, ассоциированный профессор кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых», Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева.
- Мамырбаева К.К. - доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых», Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

СЛУШАЛИ:

Председатель Барменшинова М.Б.: Есиркегенов Меирбек Ибрагимович обучался в докторантуре по специальности 8D07203 – «Металлургическая инженерия» в НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева в 2019–2022 гг.

В настоящее время он завершил диссертационную работу на тему: «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа», которая была утверждена на Ученом совете КазННТУ имени К.И. Сатпаева от 01 декабря 2020 г. (приказ № 2280-д).

Для проведения экспертизы по диссертации Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича были назначены рецензенты:

Мамырбаева К.К. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых», Горно-

металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

Усольцева Г.А. – к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых», Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

Они являются компетентными специалистами в соответствующей отрасли и подготовили рецензии по рассматриваемой диссертации.

К защите представлена диссертационная работа докторанта специальности 8D07203 – «Металлургическая инженерия» Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича на тему: «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа».

Научные стажировки:

Есиркегенов Меирбек Ибрагимович в 2022 г. прошел научную стажировку в Сулеймен Демирели Университет, г. Испарта, Турция.

Если нет вопросов по повестке дня, слово предоставляется докторанту Есиркегенову Меирбеку Ибрагимовичу для доклада. Регламент 20 минут на презентацию доклада.

Есиркегенов М.И.:

Уважаемый председатель и уважаемые присутствующие! Разрешите представить вашему вниманию основные результаты диссертационной работы на тему: «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа».

В докладе отражены актуальность, цель, задачи работы, содержание, основные положения, выносимые на защиту, научные результаты и выводы диссертации.

Слушали:

Слушали Есиркегенова М.И., который в своем докладе изложил суть диссертационной работы. Доклад был представлен в форме презентации. В ходе доклада были освещены следующие вопросы:

Актуальность исследуемой проблемы,
Цель и задачи диссертационного исследования,
Научная новизна,
Основные положения, выносимые на защиту,
Практическая значимость диссертации,
Методы исследования,
Результаты исследования,
Заключение и выводы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Председатель Барменшинова М.Б.:

Уважаемые коллеги, переходим к следующему этапу – обсуждению диссертации. Пожалуйста, уважаемые коллеги, у кого есть вопросы по данной работе?

Вопрос от Мотовилова И.Ю.:

Хотелось бы увидеть матрицу планирования: какой параметр был выбран в качестве критерия оптимизации? Если было составлено уравнение регрессии, каким образом оно использовалось? Как осуществлялось движение по градиенту, каким образом полученные расчетные результаты сравнивались с практическими данными? Какова степень сходимости расчетных и экспериментальных данных?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Спасибо за вопрос, Игорь Юрьевич. Полнофакторный анализ представлен в приложении и в диссертационной работе, в том числе и матрица планирования.

Варьируемыми технологическими факторами при построении математической модели были следующие:

- концентрация меди в исходном растворе, г/л (x_1);
- рН исходной водной фазы (x_2);
- продолжительность экстракции, мин (x_3).
- концентрация серной кислоты, г/дм³

Как уже отмечалось, в результате полнофакторного анализа было достигнуто извлечение меди свыше 90% при моделировании процессов в специализированной программе. Данный показатель оказался такой же, как при расчетах, выполненных с использованием программного обеспечения компании Solvay, где также получено извлечение 90%.

При сопоставлении с экспериментальными данными также зафиксировано, что извлечение меди составляет более 90%, что подтверждает достоверность полученных результатов. Таким образом, можно заключить, что проведенные исследования и математическое моделирование подтвердили корректность расчетов и соответствие теоретических данных экспериментальным значениям.

Вопрос от Мотовилова И.Ю.: *

Понятно. На будущее можно было бы уделить больше внимания анализу исследуемых факторов. Какие именно факторы были рассмотрены в исследовании? Кроме того, при анализе уравнения регрессии выявлялись ли незначимые факторы, а какие, напротив, оказались существенно значимыми? Было бы полезно также отразить эту информацию в работе.

Вопросы от Баймбетова Б.С.:

Каким образом было установлено, что образование соединений кремния ($\text{Si}(\text{OH})_4$) способствует образованию крада?

В технологической схеме предлагается многократное центрифугирование. В лабораторных условиях использовались пробирки объемом 40 мл, что понятно. Однако, если масштабировать процесс до 1000

кубометров, какая аппаратура может быть использована для центрифугирования в условиях реального производства?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

По первому вопросу, установлено следующее: термодинамически установили, механизм превращения кремния в водной среде: $\text{SiO}_2 (\text{тв.}) \rightleftharpoons \text{Si}(\text{OH})_4$. Рентгенофазовым и энергодисперсионной спектроскопией установили наличия форм кремния в том числе и в гидратированной форме. При изменении pH в водной среде кремний проходит последовательные превращения: при $\text{pH} < 2$ диоксид кремния (SiO_2) растворяется с образованием ортокремниевой кислоты ($\text{Si}(\text{OH})_4$), далее при $\text{pH} 2-9$ происходит ее частичная диссоциация до гидросиликата (H_3SiO_4^-), при $\text{pH} > 9$ – до дигидросиликата ($\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$), а в сильнощелочной среде ($\text{pH} > 12-14$) образуются силикат-анионы (SiO_3^{2-} и SiO_4^{4-}). В присутствии меди и серы возможны осадкообразующие реакции: при $\text{pH} 6-9$ $\text{Si}(\text{OH})_4$ взаимодействует с Cu^{2+} , формируя диоптаз ($\text{Cu}_6\text{Si}_6\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), а при $\text{pH} \approx 7$ происходит осаждение сульфида меди (CuS) из раствора, что может влиять на процессы экстракции и образование осадков.

По второму вопросу, если говорить о практическом применении, то таких оборотов при центрифугировании можно достигать с помощью оборудования Flottweg (Германия). Эти центрифуги могут обеспечивать скорость вращения до 9000 об/мин, и уже применяются на ряде месторождений.

Вопрос от Байгенженова О.:

В абзаце 2 (на слайде 29) указано, что происходит конденсация мономера и низкомолекулярных полимеров кремнезема. Однако, как правило, конденсация предполагает образование из газовой фазы, тогда как в вашем случае речь идет о водном растворе. Как именно может происходить этот процесс в таких условиях?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Здесь, скорее всего, вопрос в формулировке. Имелось в виду, что при повышении концентрации мономера происходит его постепенное полимеризационное уплотнение, что приводит к увеличению концентрации полимерных форм кремнезема. Далее, при повышении pH, эти полимеры переходят в гелеобразное состояние (силикатную форму). Именно этот процесс имелся в виду в данном контексте.

Уточняющий вопрос от Байгенженова О.:

На слайдах 18–19 представлена информация, однако неясно, каким образом проводилась ре-экстракция. Какой экстрагент использовался в процессе и какие условия ре-экстракции применялись?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Экстракция проводилась с использованием экстракционного реагента, а не электролита. В данном случае подразумевалось повышенное содержание серной кислоты в растворе, примерно 200 г/л. Экспериментальные исследования проводились с моделируемым раствором, содержащим данную концентрацию серной кислоты.

Вопрос от Усольцевой Г.А.:

По этому же слайду хотелось бы уточнить: с чем связано использование такой высокой концентрации серной кислоты? Почему был выбран именно этот уровень кислотности?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Механизм процесса следующий: продуктивный раствор (ПРС) содержит приблизительно 2 г/л меди при pH около 2. Для эффективного взаимодействия с органической фазой, обеспечивающего передачу меди в экстракт, необходимо, чтобы pH был ниже, что способствует активации экстрагента и связыванию медных ионов. Таким образом, для достижения оптимальных условий экстракции требуется высокая концентрация серной кислоты, позволяющая регулировать pH системы и обеспечивать эффективный переход меди в электролит.

Вопрос от Усольцевой Г.А.:

Меирбек, речь идет не о pH, а о селективности экстракции. Во время экстракции можно частично избавиться от железа и кремнезема. Пробовали ли вы сначала экстрагировать медь слабым раствором серной кислоты, а затем очищать экстрагент от примесей?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Проводили сравнительные эксперименты и установили селективность всех экстрагентов. Водную промывку проводили на пилотной экстракционной установке.

Комментарий от Усольцевой Г.А.:

Важно сначала использовать менее концентрированную серную кислоту, поскольку при этом кремнезем и железо хуже извлекаются, а медь, наоборот, будет хорошо экстрагироваться.

По теоретическим данным, представленным в литературных источниках, для эффективного выделения меди не обязательно использовать 200 г/л серной кислоты – достаточно 80 г/л, чтобы достичь достаточного извлечения меди в значительных количествах.

Вопрос от Г.А. Усольцевой:

На слайде 22 приведена информация о разделении фаз, но отсутствует показатель β , который необходим для корректного сравнения данных с предыдущей таблицей. Можно ли его добавить?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Да, понял. Добавим этот показатель, чтобы сделать сравнение более наглядным.

Вопрос от Г.А. Усольцевой:

В работе указано количество поверхностно-активных веществ (ПАВ), но не указан их удельный расход. Разные объемы растворов могут давать разную эффективность, поэтому необходимо учитывать удельный расход для корректной оценки процесса.

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Понял, хорошо. Укажем удельный расход ПАВ, чтобы обеспечить точность данных.

Вопрос от А.К. Койжановой:

В чем отличие предложенной вами технологии от используемой в Актогайском ГОКе?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Основное отличие заключается в методе добавления реагента CR-60. В стандартном процессе этот реагент вводится в водную фазу, а в нашем методе – непосредственно в экстрагент. Также мы предлагаем использование коагулянта PolyPAX-30, который вводится в межфазное пространство, что способствует уменьшению крадообразования.

Вопрос от Б.С. Баймбетова:

На слайде 22 указано отношение органической и водной фаз (О:В), но представленные числовые значения выглядят некорректными.

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Да, здесь ошибка. Соотношение 1:0,1 должно быть 1:1. Исправим в работе.

Вопрос от Н.К. Досмухамедова:

Какая основная цель вашей работы – экстракция меди или снижение крадообразования?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Основной упор сделан на снижение крадообразования, так как это позволяет увеличить объем растворов PLS, поступающих в экстракцию, что, в свою очередь, приводит к повышению извлечения меди и увеличению производительности.

Вопрос от Н.К. Досмухамедова:

Каким образом был обоснован выбор экстрагентов?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

В работе использовались экстрагенты LIX-984N и Acorga M5640 компании Solvay, так как они являются наиболее распространенными и эффективными в экстракции меди. Выбор зависит от состава раствора ПЛС: LIX используется при более низких pH, а Acorga – при высоком содержании примесей.

Вопрос от Н.К. Досмухамедова:

Как изменяется кислотность растворов в процессе экстракции?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

В экстракторе pH поддерживается на уровне 1,1, а в ПЛС – до 2,0. Практически рабочий диапазон составляет 1,8–2,0 pH.

Вопрос от Н.К. Досмухамедова:

Если pH постоянный, почему в модели предусмотрен переменный параметр pH?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

В ходе экспериментов проводился анализ в диапазоне pH 1,7–1,9, чтобы определить оптимальный режим экстракции и влияние pH на процесс.

Вопрос от Н.К. Досмухамедова:

Какая ключевая научная новизна вашей работы?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Научная новизна заключается в добавлении коагулянта и изменении метода введения реагента CR-60. Это позволило значительно снизить крадообразование и повысить эффективность процесса.

Вопрос от Н.К. Досмухамедова:

В теоретической части рассматривается поведение различных примесей, но в практической части основное внимание уделено кремнезему и железу. Почему не рассматривались другие примеси, например, ванадий и марганец?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Да, в теоретической части рассмотрено поведение ряда примесей, включая ванадий и марганец, поскольку они могут влиять на экстракцию меди. Однако основное внимание в экспериментальной части уделено кремнезему и железу, так как они являются основными компонентами, способствующими образованию крада.

Вопрос от Г.М. Молдабаевой:

Можно показать слайд, на котором представлены примеси в растворах?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Да, данный анализ был проведен, но в презентации убран для оптимизации объема информации. Полный химический анализ, включая марганец и магний, имеется в диссертации.

Вопрос от Н.К. Досмухамедова:

Почему в теоретической части уделено много внимания поведению примесей, но в практической части упор сделан на крадообразование?

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Основное внимание в теоретической части уделено анализу примесей и их возможному влиянию на процесс экстракции меди. Однако ключевая цель исследования – снижение крадообразования, поэтому в экспериментальной части основное внимание сосредоточено на механизме образования крада и методах его подавления.

Комментарий Т.А. Чепуштановой:

Да, влияние примесей было рассмотрено в третьем разделе, но в презентации этот момент упущен. В дальнейшем добавим эту информацию для более полного освещения темы.

Выступление рецензента Г.А. Усольцевой

Рецензент Г.А. Усольцева отметила, что работа Есиркегенова М.И. представляет собой значительное исследование, объем которого крайне сложно уместить в требования по оформлению диссертации. Был проведен огромный объем экспериментов, что далеко не каждому докторанту под силу.

- Технология, предложенная в диссертационной работе, обладает рядом значительных преимуществ, среди которых:
- Снижение крадообразования, что уменьшает потери органического реагента,
- Уменьшение уноса органической фазы,

- Повышение селективности и извлечения меди из продуктивных растворов,
- Оптимизация процесса экстракции,
- Улучшение экологической обстановки в медной промышленности за счет снижения выбросов и отходов,
- Снижение затрат на утилизацию крада, что имеет также социальное и экономическое значение.

Замечания и предложения:

Влияние других примесей, таких как магний и алюминий, на образование крада в работе не рассмотрено, хотя этот аспект был отмечен в обсуждении (Г.М. Молдабаевой). Вероятно, ограниченный объем диссертации не позволил провести детальное исследование.

Механизм образования крада не ограничивается только условиями экстракции, но также зависит от условий резэкстракции и формирования продуктивных растворов, что могло бы быть дополнительно рассмотрено.

В разделе методов исследования не были изначально указаны все программные продукты, использованные в работе, хотя в дальнейшем в тексте они упоминаются. Это требует корректировки.

Несмотря на указанные замечания, рецензент подчеркнула, что они не снижают научной и практической ценности работы. Диссертация «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа» соответствует требованиям Министерства образования и науки РК к диссертационным исследованиям PhD как по содержанию, так и по объему, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD).

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Докторант Есиркегенов М.И. поблагодарил Г.А. Усольцеву за детальный анализ и замечания, согласился с большинством из них, отметив, что:

В работе действительно исследовалось влияние крада с применением различных приборов, однако не рассматривались процессы его образования в режимах резэкстракции (в т.ч. непрерывных и неорганических режимах).

По остальным замечаниям также согласен, исправления будут внесены.

Председатель М.Б. Барменшинова:

Благодарит рецензента и передает слово второму рецензенту.

Выступление рецензента К.К. Мамырбаевой

Рецензент К.К. Мамырбаева отметила, что диссертационная работа Есиркегенова М.И. посвящена актуальной научной проблеме, связанной с совершенствованием технологий переработки растворов кучного выщелачивания меди с уменьшением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского горно-обогатительного комбината.

В диссертации подробно раскрыта актуальность исследования, сформулированы цель и основные задачи, а также обоснована научная новизна полученных результатов. Все представленные экспериментальные

данные являются достоверными, поскольку получены с применением современных физико-химических методов анализа. Диссертационная работа обладает как теоретической, так и практической значимостью.

Замечания и предложения:

В разделе 4.7 не отражены конкретные критерии оптимальности, используемые при разработке методики оценки экономической эффективности применения экстракционного аппарата.

В тексте диссертации не приведены механизмы влияния примесей (например, марганца и ванадия) на процесс экстракции, хотя их термодинамический анализ в водной среде с серной кислотой рассмотрен достаточно подробно. Следовало бы добавить больше информации по их влиянию на процесс образования крада.

В диссертации имеются некоторые стилистические и терминологические замечания, которые были переданы автору.

В целом, работа выполнена на высоком научном уровне, обладает значительной научной и практической ценностью, соответствует требованиям Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан к диссертациям PhD как по содержанию, так и по объему, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора философии (PhD).

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Докторант Есиркегенов М.И. выразил благодарность К.К. Мамырбаевой за анализ работы и отметил, что:

По замечанию к разделу 4.7 – основные параметры, влияющие на экономическую эффективность экстракции, действительно рассмотрены, но для полноты анализа можно было дополнительно привести конкретные критерии оптимальности, а также данные о затратах на энергию, расходе реагентов и производительности.

По замечанию о влиянии примесей – согласен, что добавление экспериментальных данных по марганцу и ванадию усилило бы исследование. Однако ограниченность ресурсов и времени не позволила провести полноценный анализ их влияния на извлечение меди и образование крада.

Докторант согласился со всеми замечаниями и отметил, что они будут учтены в дальнейших исследованиях.

Председатель Барменшинова М.Б.:

Слово предоставляется отечественному научному консультанту, доктору PhD, профессору КазННТУ имени К.И. Сатпаева Чепуштановой Т.А. (положительный отзыв прилагается).

Выступление научного консультанта Т.А. Чепуштановой

Научный консультант Т.А. Чепуштанова отметила, что докторант Есиркегенов М.И. продемонстрировал высокий уровень подготовки и профессиональные качества, будучи специалистом производственного профиля.

Работа над темой исследования велась системно и последовательно, начиная с магистратуры (2016–2018 гг.) и продолжаясь в докторантуре

(2019–2022 гг.). В течение этих лет проводились детальные исследования, несмотря на сложности, связанные с периодом карантина.

Значимость и новизна работы:

Диссертационная работа является логическим продолжением магистерского исследования, в ходе которого были проведены первые эксперименты, подтвержденные в укрупненных промышленных испытаниях.

Исследование стало основой для проекта «Жас ғалым», а также получения патента.

В рамках грантового финансирования был завершен крупный проект, связанный с данной темой, что подтверждает высокую научную значимость работы.

В теоретическом аспекте работа отличается глубоким анализом структуры полимеризации кремния и выявлением силицидов ванадия, что является новыми данными в этой области. Эти результаты могут быть включены в методические рекомендации для дальнейшего применения в практике.

В технологическом аспекте новизна заключается во введении в крадообразование модификаторов, что существенно отличает предложенную схему от действующих аналогов. В частности, разработано применение градоподавителя CR-60, а также детально раскрыт механизм его действия.

Научный консультант подчеркнула, что полученные результаты являются полностью оригинальными, и докторант Есиркегенов М.И. заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD).

Отзыв зарубежного научного консультанта:

Т.А. Чепуштанова представила отзыв Алекса Николаски, профессора Университета Мердока (Австралия), который является партнером КазННТУ по образовательным программам.

В отзыве отмечены все ключевые аспекты работы, включая уникальность подхода, новизну исследования и значимость полученных результатов. Особое внимание было уделено тому, что по результатам работы опубликована статья в журнале Q1, что подтверждает высокий научный уровень исследования.

Профессор Алекс Николаски поддержал выдвижение диссертационной работы на защиту, не имея замечаний к ее содержанию.

Ответ докторанта Есиркегенова М.И.:

Докторант Есиркегенов М.И. поблагодарил научного консультанта Т.А. Чепуштанову, а также зарубежного консультанта Алекса Николаски за руководство и поддержку в проведении исследования.

Председатель Барменшинова М.Б.:

У кого-нибудь еще есть вопросы? Вопросов нет. Работа объемная, а выявленные замечания легко исправимы. Все участники расширенного научного семинара, выступившие в дискуссии, единогласно рекомендовали диссертационную работу Есиркегенова М.И. к защите в диссертационном совете по направлениям «Металлургия, Обогащение и Материаловедение»: 6D070900 – «Металлургия» / 8D07204 – «Металлургическая инженерия»,

8D07201 – «Обогащение полезных ископаемых», 6D071000 –
«Материаловедение и технология новых материалов» / 8D07103 –
«Материаловедение и инженерия»

На этом обсуждение диссертационного исследования PhD-докторанта
Есиркегенова М.И. можно считать завершенным.

Предлагаю принять следующее заключение по обсуждению
диссертационной работы Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича на тему
«Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением
крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского
ГОКа».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расширенного заседания научного семинара кафедры «Металлургии и
обогащения полезных ископаемых» КазННТУ им. Сатпаева от 14 марта 2025
г. по диссертационной работе докторанта (PhD) Есиркегенова Меирбека
Ибрагимовича на тему «Переработка растворов кучного выщелачивания
меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в
условиях Актогайского ГОКа», представленной на соискание степени
доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургическая
инженерия».

Актуальность темы исследования

Анализ публикаций показал, что образование и состав крадов зависят, как
от состава растворов, из которых извлекается целевой металл: наличие в них
твердых взвесей, органических соединений, соединений в коллоидном
состоянии, в частности кремниевой кислоты, так и от природы и чистоты
составляющих экстрагента. Актуальным является разработка комплексной
технологии снижения крадообразования при жидкостной экстракции меди с
использованием селективных экстрагентов меди, серно – солянокислотной –
гептансодержащей смеси, применения ПАВ в виде коагулянтов и флокулянтов
в качестве упреждающих подавителей межфазных образований. Разработка
комплексных упреждающих способов предотвращения образования и
накопления крада.

Предлагается комбинированный способ предотвращения и подавления
образования крада при экстракции меди с использованием серно-солянокисло-
гептановой смеси для снижения крадообразования, заключающийся в
действии группы альдоксимов, присадки CR60 и растворении
полимеризованных кремниевых связей в крадах за счет воздействия
поверхностно-активного комплекса алкилсульфонатанатрия, при
соотношении О:В = 1:2; температуре 20±5 °С. Особую актуальность данная
технология приобретает в условиях стремительного снижения содержания
меди в окисленных рудах.

**2. Научные результаты в рамках требований к диссертациям (пп. 2, 5,
6 «Правил присуждения степеней» и паспортов соответствующих
специальностей научных работников)**

Научные положения диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам такого рода. В работе последовательно решаются поставленные соискателем задачи. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников. В главах сделаны научно значимые, логично аргументированные выводы.

Основные полученные результаты сводятся к следующему:

Разработана технология снижения образования третьей фазы (крада) за счет растворения полимеризованных кремниевых связей в крадах под воздействием экстрагентов группы модифицированных альдоксимонов (ACORGA M5774, M5640), поверхностно-активного комплекса алкилсульфоната натрия, добавок коагулянтов (POLYPACS-30) и применения противоточной схемы экстракции с 2–3 ступенями.

Впервые разработан способ экстракционного извлечения меди из сернокислых растворов, включающий противоточную 2-3-ступенчатую экстракцию с применением 10% хелатообразующего экстрагента группы альдоксимонов, с подавлением образования крада за счет растворения полимеризованных кремниевых связей мономерным полимером поли(4-стиролсульфонат натрия), добавляемым в объеме 5 см³, при соотношении О:В = 1:2, температуре 20±5 °С, с последующей реэкстракцией меди.

Впервые установлено, что в отличие от существующей схемы на Актогайском ГОКе, добавка поверхностно-активных веществ (1%-ный раствор POLYPACS-30) в сочетании с крадоподавителем CR 60 и экстрагентом ACORGA M5640 непосредственно в крад с последующим центрифугированием при 5000 об/мин в течение 5–7 минут позволяет суммарно снизить образование крада до 60–70%.

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии впервые установлены механизмы накопления кремнезема в краде: доказано, что растворимой формой кремнезема является Si(OH)₄, который при повышении концентрации образует сначала низкомолекулярные кремниевые кислоты (диаметром <50 Å), а затем полимерные разновидности (диаметром >50 Å) в виде коллоидных частиц.

Впервые выявлено, что конденсация мономеров и низкомолекулярных полимеров кремнезема приводит к образованию зародышеобразующих частиц, которые во время выщелачивания и экстракции образуют коллоидные агрегаты с развитой внутренней поверхностью, содержащие SiOH-группы, что приводит к формированию гидратированных форм кремнезема, переходящих в кварц.

Впервые установлено, что скорость поликонденсации кремнезема зависит от pH системы: минимальная скорость наблюдается при pH 2–3, при pH ниже 2–3 реакция ускоряется за счет ионов H⁺, а при pH выше 2–3 – за счет ионов OH⁻.

Впервые доказано, что присутствие значительного количества экстрагента в краде объясняется тем, что оксиоксимоны могут образовывать хелатные связи с атомом кремния или водородные связи с Si(OH)₄ и SiOH-группами поликремниевой кислоты.

Разработана двухстадийная схема снижения образования крада:

1-я стадия – применение экстрагента ACORGA M5640 и крадоподавителя CR 60, что позволяет максимально извлечь медь и снизить содержание коллоидного кремния.

2-я стадия – добавка коагулянта POLYPACS-30 (1 см³ 1%-ного раствора) непосредственно в крад с последующим центрифугированием при 5000 об/мин в течение 5–7 минут, что обеспечивает снижение образования крада на 60–70%.

Впервые разработаны универсальные рекомендации по снижению образования крада, направленные на подавление и пассивацию коллоидного кремния, что способствует повышению эффективности жидкостной экстракции меди.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации

Полученные в ходе исследования результаты и выводы отражают содержание всех разделов в логичной последовательности и подтверждаются публикациями основных научных результатов в международных и отечественных научных журналах.

4. Степень новизны каждого научного результата (положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации

Научные положения диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам данного типа. Научная новизна исследования заключается в следующем:

Разработана технология снижения образования крада, основанная на растворении полимеризованных кремниевых связей под воздействием экстрагентов ACORGA M5774, M5640, поверхностно-активного комплекса алкилсульфоната натрия и коагулянта POLYPACS-30 в противоточной 2-3-ступенчатой экстракции.

Установлена зависимость образования крада от поликонденсации кремнезема, показано, что при pH 2–3 реакция замедляется, а при изменении кислотности ускоряется за счет ионов H⁺ и OH⁻, что впервые объясняет механизм его накопления.

Экспериментально подтверждено, что экстрагенты альдоксимной группы способны образовывать связи с атомами кремния, что приводит к их накоплению в краде и требует корректировки состава экстракционной системы.

Разработана двухстадийная схема снижения образования крада:

1-я стадия – применение экстрагента ACORGA M5640 и крадоподавителя CR 60, что позволяет уменьшить содержание коллоидного кремния.

2-я стадия – добавление коагулянта POLYPACS-30 и центрифугирование при 5000 об/мин в течение 5–7 минут, что снижает образование крада на 60–70%.

Предложены рекомендации по снижению крадообразования, включающие контроль pH, модификацию экстрагентов и пассивацию кремниевых соединений, что позволяет повысить эффективность экстракции меди.

Полученные результаты являются принципиально новыми и могут быть применены в промышленных процессах экстракции меди для оптимизации селективности и минимизации потерь органической фазы.

5. Оценка внутреннего единства полученных результатов

Диссертационное исследование представляет собой логически заверченный научный труд, обладающий внутренним единством. Четко сформулированные цель и задачи исследования нашли последовательное теоретическое и методологическое решение в каждом разделе диссертации, сформированы в виде основных положений, выносимых на защиту. Все результаты, выводы и заключение внутренне взаимосвязаны, каждый следующий вывод связан с предыдущим с соблюдением принципа от общего к частному.

6. Направленность полученных результатов на решение соответствующей актуальной проблемы, теоретической или прикладной задачи

Результаты проведенных исследований расширяют представления о механизмах образования крада и влиянии кремния в процессах жидкостной экстракции меди. Разработанные методики снижения крадообразования позволяют повысить стабильность экстракционных систем и сократить потери органической фазы, что имеет ключевое значение для промышленной экстракции меди.

Предложенные в работе подходы, включающие оптимизацию состава экстрагентов (ACORGA M5774, M5640), применение коагулянтов (POLYPACS-30) и крадоподавителей (CR 60), а также противоточную экстракцию, обладают высоким потенциалом для внедрения на промышленных предприятиях.

Исследование механизма поликонденсации кремнезема и его влияния на формирование крада позволило установить ключевые факторы, влияющие на стабильность экстракционного процесса. Данные результаты могут быть использованы для дальнейшего совершенствования технологий извлечения меди и других цветных металлов.

Кроме того, научные выводы, полученные в диссертационной работе, открывают возможности для разработки новых технологических решений и проведения дальнейших экспериментальных исследований, направленных на повышение эффективности экстракции и снижение потерь ценных металлов.

7. Подтверждение полноты опубликования основных положений, результатов, выводов и заключения диссертации

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, из них 4 статья в международном рецензируемом научном журнале, входящем в БД Scopus и Web of Science:

1. T. Chepushtanova, **M. Yessirkegenov**, K. Mamyrbayeva, Ata Akcil & T. Gaipov. Extraction of CoP.er from Pregnant Leach Solution (PLS) and Reduction of Crud Formation. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review An International Journal. 14.04. 2024. <https://doi.org/10.1080/08827508.2024.2340545>. P. 1-13. Q1, Procentile 89. <https://www.tandfonline.com/doi/figure/10.1080/08827508.2024.2340545?scroll=top&needAccess=true>.
2. The Testing Results of ACORGA, LIX Extractants and CR60 Crud Mitigation Reagent Influence during SX-EW CoP.er Extraction. T. Chepushtanova, **M. Yessirkegenov**, Ye. Bochevskaya, A. Sharipova, O. Baigenzhenov*, Y. Merkiybayev, A. Altmyshbayeva. MDPI Sustainability, Q2, percentile 88. 1-17, Sustainability 2024. Published: date 08.09.2024. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/17/7815>, <https://doi.org/10.3390/su16177815>.
3. T.A. Chepushtanova, **M.I. Yessirkegenov**, A. Nikoloski, Y.S. Merkiybayev, A.Zh. Altmyshbayeva. Development of an Enhanced Method for CoP.er Extraction from Sulfuric Acid Solutions. KOMPLEKSNOE ISPOLZOVANIE MINERALNOGO SYRA. C. 99-109, Q4, Vol. 334 № 3, 2025, Published: 2024-06-20, ISSN2224-5243 <https://doi.org/10.31643/2025/6445.32>.
4. T. A. Chepushtanova, **M.I. Yessirkegenov**, K.K. Mamyrbayeva, Y. S. Merkiybayev. Investigations of the extraction of coP.er and crud-formation from a pregnant leached solution of the Almaly deposit. Non-ferrous Metals, 2023 (2), Procentile 46. P. 11-19. DOI: 10.17580/nfm.2023.01.02. <https://www.rudmet.ru/journal/2217/article/36739/>
5. Chepushtanova, T. A.; **Yessirkegenov, M. I.**; Mamyrbayeva, K. K.; Merkiybayev, Y. S.; Nikolosky, A. Testing of the optimum extragent for solvent-extraction of Almaly deposit coP.er. KOMPLEKSNOE ISPOLZOVANIE MINERALNOGO SYRA. Jan-mar 2023 (1), P.43-49. Q4. <http://kims-imio.com/index.php/main/article/view/157/304>
6. T.A. Чепуштанова, **М.И. Есиркегенов**, К.К. Мамырбаева, А. Николоски, А.К. Тулепбергенов. Исследование процесса экстракции основных компонентов продуктивного раствора (меди, железа и кремнезема) месторождения Алмалы. Журнал КарГТУ «Университет еңбектері-Труды Университета», № 1 (90), апрель 2023, С 23-29. DOI 10.52209/1609-1825_2023_1_23 <http://tu.kstu.kz/archive/issue/96>
7. **Есиркегенов М.И.**, Мұқанғалиева А.Ө., Алтмышбаева А.Ж., Чепуштанова Т.А., Nikoloski A. Влияние крадооброзования на процесс жидкостной экстракции меди Казахстанских предприятий / Труды Международной научно-практической конференции Сатпаевские чтения 2022 – Алматы: КазННТУ, 2022. – 3 том. – С. 147-151.
8. T.A. Chepushtanova, **M.Yessirkegenov**, K.K. Mamyrbaeva, A. Nikoloski, V.A. Luganov. Interphase formations in coP.er extraction systems. Selected paper from 63-rd International Scientific Conference, October 23, 2020, Sofia, Bulgaria, full-text paper Journal Mining and geological science. Volume 63. P. 31-37.

Патенты

Подана заявка на изобретение «Способ жидкостной экстракции меди из сернокислых растворов» №20524/0449.1 от 03.06.2024 г. Чепуштанова Т.А., Есиркегенов М.И., Мамырбаева К.К., Меркибаев Е.С.

Монография

Т.А. Чепуштанова, М.И. Есиркегенов, К.К. Мамырбаева, Е.С. Меркибаев. Монография. Устойчивое развитие гидрометаллургии меди – принципы и технологии снижения крадообразования при жидкостной экстракции меди. ISBN 978-601-08-4140-6. С. 136.

9. Наименование специальности, паспорту которой соответствует диссертация

Диссертационная работа докторанта Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича на тему «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа» выполнена в полном объеме и соответствует всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургическая инженерия».

10. Соответствие диссертации предъявляемым требованиям «Правил присуждения степеней» Комитета по контролю в сфере Науки и Высшего образования РК Диссертационная работа докторанта Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича на тему «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа» представляет собой самостоятельное и завершенное исследование в области металлургической инженерии. Учитывая актуальность и научную новизну исследования, обоснованность выводов, а также их теоретическую и практическую значимость, диссертационная работа полностью соответствует требованиям «Правил присуждения степеней» Комитета по контролю в сфере науки и высшего образования РК.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа» рекомендуется к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургическая инженерия» в диссертационном совете «Металлургия и обогащение полезных ископаемых».

ПОСТАНОВИЛИ:

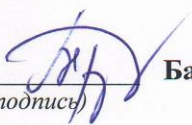
1. Диссертационная работа докторанта Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича на тему «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа» выполнена в полном объеме и отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургическая инженерия».

2. Рекомендовать диссертационную работу докторанта Есиркегенова Меирбека Ибрагимовича на тему «Переработка растворов кучного выщелачивания меди со снижением крадообразования при жидкостной экстракции в условиях Актогайского ГОКа» к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургическая инженерия» в диссертационном совете «Металлургия и обогащение».

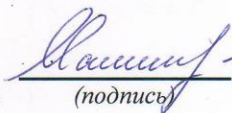
Результаты голосования:

«За» – единогласно, «Против» – нет, «Воздержавшихся» – нет.

**Председатель, к.т.н.,
заведующий кафедрой
МиОПИ**


(подпись) **Барменшинова М.Б.**

**Секретарь,
ассоциированный профессор,
доктор PhD, МиОПИ:**


(подпись) **Мамырбаева К.К.**