

## ОТЗЫВ

научного консультанта  
на диссертационную работу

**Есенгараева Ерлана Кайратовича**

«Интенсификация процесса кучного выщелачивания золота с применением различных реагентов и различных физико-химических методов»,  
представленную на соискание ученой степени доктора философии PhD  
по специальности 6D070900 – Metallургия

Повышение извлечения золота на стадии КВ с применением различных реагентов окислителей и растворителей, поиск новых реагентов и методов выщелачивания, является актуальной задачей производства. Повышение извлечения золота даже на 1% дает значительно экономический эффект.

Целью исследования диссертанта является – интенсификация процесса кучного выщелачивания золота с использованием ацетата натрия и пероксида водорода. Объектом исследования выбрана малосульфидная руда месторождения Сари Гунай (Иран), с учетом места работы автора.

Диссертантом были поставлены задачи исследования:

- провести технологическую оценку выщелачивания золотосодержащей руды месторождения Сари-Гунай методом КВ;
- провести анализ литературы и патентно-информационный поиск по использованию реагентов, интенсифицирующих процесс выщелачивания золота;
- термодинамически обосновать выбор пероксида водорода и ацетата натрия, с целью окисления сульфидов и растворения пассивирующей поверхности золота соединений;
- выявить закономерности, изучить кинетику процесса КВ золота при использовании реагентов;
- изучить условия и технологию переработки малосульфидной руды с использованием пероксида водорода и ацетата натрия;
- провести лабораторные бутылочные тесты и колонные испытания, имитирующие промышленные установки КВ;
- провести экономическую оценку использования новых реагентов в технологии извлечения золота.

С применением современных средств минералогического, химического и пробирного анализов диссертантом изучен вещественный состав проб руды месторождения Сари-Гунай и выявлено, что промышленную ценность в руде представляет только золото, содержание его в пробе по результатам пробирных анализов составило 2,90 г/т. По содержанию сульфидной серы руда относится к категории малосульфидной, по степени окисления серы (50,7%) – к категории окисленных руд.

Для исследуемых образцов руды был применен рентгенодифрактометрический анализ на дифрактометре ДРОН-4 с  $\text{Cu}$  –излучением и графитовым монохроматором, электронный микроанализатор JEOL JXA-8230

Electron Probe Microanalyzer. Автором показано, что золото в руде присутствует в виде тонких (микронных) включений в скородите, гидроксидах железа и кварце. Доля сульфидных минералов находится в пределах 1 % и менее, и 99 % из них составляет пирит. Пирит, арсенопирит, галенит фиксируются в тяжелых фракциях, в редких и единичных зёрнах. Руда на 91% сложена породообразующими минералами.

Проведен гранулометрический анализ руды при крупности -20 мм и выявлено, что в основном золото находится в крупных классах.

Проведены стандартные бутылочные исследования, на руде крупностью 90% класса -0,074 мм, показатели которых рассматриваются как максимально возможные. При крупности -0,074 мм максимальное извлечение золота из руды достигло 61,81 %.

Для имитации процесса кучного выщелачивания, в бутылочных агитаторах была использована также, дробленая руда крупностью -12+0 мм и в этом случае извлечение золота достигло 52,03 %.

Проведены термодинамические расчеты и показана возможность протекания реакций взаимодействия ацетата натрия с компонентами золотосодержащей руды, такими, как – сульфиды, гидроксиды железа и скородит, что приводит к вскрытию золота и растворению его в цианидном растворе. При этом ацетат натрия не оказывает разрушающего действия на щелочной раствор цианида.

Проведены бутылочные исследования и колонные испытания цианирования золотосодержащей руды при крупности -0,074 мм и -12 мм с добавлением ацетата натрия и предварительной обработкой руды раствором пероксида водорода. Также изучено влияние ультразвука на выщелачивание золота. Построены кинетические кривые растворения золота из измельченной и дробленной руды при различных расходах ацетата натрия.

- При крупности руды -0,074 мм, расход ацетата натрия мало влияет на содержание золота в растворе.
- При крупности -12 мм заметно, что содержание золота в растворе повышается с 0,5 кг/т до 1,5 кг/т.
- Степень извлечения при крупности руды -0,074 мм, в зависимости от расхода ацетата натрия, остается на одном уровне 61,81-59,66%, повышение расхода ацетата может привести к снижению извлечения золота.
- При крупности -12 мм степень извлечение возрастает, при добавление ацетата натрия, от 52,03% до 56,76%.

Автором показано, что использование пероксида водорода при орошении кучи без подачи щелочных цианидных растворов, способствует реакциям окислителя с сульфидной частью руды. При совместной подаче пероксид разрушает цианид натрия. Окисление и растворение сульфатов железа и меди приведет к вскрытию тонко вкрапленного золота, которое далее может быть извлечено при подаче цианидного раствора.

Сделано предположение о механизме выщелачивания золота в щелочной цианистой среде в присутствии органического продукта и окислителя:

- взаимодействие сульфидных минералов с цианидно-щелочным раствором приводит к образованию соединений, блокирующих поверхность благородного металла и препятствующих растворению золота;
- в присутствии ацетата натрия происходит его взаимодействие со щелочью и образующимися соединениями, пассивирующими поверхность золота, с образованием растворимых ацетатов металлов;
- в результате действия ацетата натрия и пероксида водорода происходит расширение межзеренных границ соединений, блокирующих поверхность золота, рост пор, трещин и увеличение доступа растворителя к поверхности золота.

#### **Новизной работы является:**

- Проведены бутылочные тесты доказывающие, что пероксид водорода можно использовать для интенсификации извлечения золота в цианидном выщелачивании при крупности руды  $-12+0$  мм и более в крупных классах. Для исключения разрушения цианида натрия и увеличения расхода этого дорогостоящего реагента необходима предварительная обработка руды раствором пероксида водорода (0,5%), что повышает извлечение золота с 52,03 % до 52,92 %.
- Добавление ацетата натрия в выщелачивающий цианидный раствор повышает извлечение золота на 2,96 %, по сравнению с извлечением без добавления данного реагента.
- Изучено влияние ультразвукового воздействия на степень извлечения золота. По сравнению с извлечением золота без использования реагентов, при ультразвуковом воздействии продолжительностью 6 часов степень извлечения золота, при добавлении ацетата натрия увеличивается на 2,96 % и при обработке пероксидом водорода - на 0,97%. Для использования метода интенсификации кучного выщелачивания золота за счет ультразвука необходимо проведение промышленных испытаний.

#### **Практическая ценность работы.**

На основании проведенных исследований, предложена технология кучного выщелачивания золота, проверенная в укрупненном лабораторном масштабе и проведена экономическая оценка в сравнении с данными технологии по выщелачиванию золота, известной в золотодобывающей промышленности.

Ожидаемая экономическая эффективность предлагаемой технологии кучного выщелачивания золота, рассчитанная при условии переработки 2 млн тонн руды в год цианидными растворами ( $CNaCN = 0,05$  г/дм<sup>3</sup> или 0,05 %) в присутствии ацетата натрия и пероксида водорода, в сравнении со стандартным способом выщелачивания, по учтенным затратам реагентов, составит: с ацетатом натрия более 5,3 млрд тенге; с пероксидом водорода

более 1,8 млрд тенге. Предлагаемый способ рекомендован для дальнейших опытно-промышленных испытаний.

Список опубликованных работ по результатам диссертационных исследований включает 2 статьи на русском языке в журналах КИМС и «Горный журнал Казахстана», а также 2 статьи на английском в журналах:

- Non-ferrous metals, 2020, №2.
- Complex Use of Mineral Resources. №1 (316) – Pp. 5-14., 2021.

Результаты исследований доложены на 4-х Международных научно-практических конференциях.

По результатам работы получен патент Республики Казахстан на полезную модель.

#### **Оценка полноты решения поставленных задач**

В результате проведения научно-исследовательской работы полностью решены поставленные задачи, разработана технология переработки, окисленной малосульфидной золотосодержащей руды по технологии кучного выщелачивания, с использованием ацетата натрия для растворения пассивирующей поверхность золота пленок, и пероксида водорода в качестве окислителя сульфидных минералов, при концентрации цианида натрия не превышающий 0,5 г/дм<sup>3</sup> (0,05 %).

#### **Рекомендации**

Считаю, что диссертант проявил навыки исследователя, выполнил все поставленные задания и заслуживает присвоения квалификации доктора PhD по металлургии, а диссертационная работа рекомендуется к защите.

Профессор КазННТУ им. К.И.Сатпаева,  
канд.техн.наук



Баимбетов Б.С

Подпись	<i>Баимбетов Б.С.</i>
Заверию: Главный менеджер Горно-металлургического института им. Д.А. Байқоңырова НАО «КазННТУ им. К.И. Сатпаев»	
<i>Менделеев В.И.</i>	
ФИО	подпись, дата