

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ

**Международной научно-практической конференции
«Эффективные технологии производства цветных, редких и
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,
члена-корреспондента Академии наук РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

PROCEEDINGS

**of International scientific and practical conference
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy
science and industry concerns and in memory of well-known scientist
of metallurgy, Associate Member of the National Academy
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

Алматы 2018

УДК 669
ББК 34.3
Э94

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

Жауапты редактор: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

Редакционный совет: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

Редакциялық алқа: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»: Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»: Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

ISBN 978-601-323-132-7

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

УДК 669
ББК 34.3

ISBN 978-601-323-132-7

© АО «ИМиО», 2018

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЯ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.14>

Кенжалиев Б.К.^{1,2}, Койжанова А.К.^{1,2}, Абдыкирова Г.Ж.¹,
ORCID: 0000-0003-1474-8354 0000-0001-9358-3193 0000-0001-5956-4730

Камалов Э.М.¹, *Магомедов Д.Р.¹
0000-0002-6073-348X 0000-0001-7216-2349

¹АО «Институт металлургии и обогащения», г. Алматы, Казахстан,
*davidmag16@mail.ru;

²НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Представлены результаты исследований по гравитационному обогащению и цианированию низкокачественной золотосодержащей руды с ее предварительным окислением, измельченной до 90% крупности класса $-0,071+0$ мм. Изучен вещественный состав руды с содержанием золота 1,26 г/т одного из месторождений Казахстана. Фазовый и элементный составы, формы нахождения золота и характер его связи с рудными компонентами изучены химическим, рентгенофазовым, рентгенофлуоресцентным, рациональным и пробирным методами анализа. Проведено трехстадиальное гравитационное обогащение руды, максимальное извлечение золота в концентрат составило 48,7%. Прямое цианидное выщелачивание исходной руды и гравиконоцентрата с окислителем гипохлоритом кальция, измельченных до крупности класса $-0,071+0$ мм (90 %), позволило извлечь 88,8 % и 79,16% золота соответственно.

Важнейшая проблема гидрометаллургии золота – изыскание рациональных способов его извлечения из низкосортных руд и концентратов. Извлечение благородных металлов из упорного сырья, не подлежащих обработке простыми, общепринятыми в промышленной практике, методами является одной из наиболее важных и актуальных проблем в цветной металлургии. Для извлечения благородных металлов из руд, промпродуктов, концентратов и отвальных хвостов изучены процессы гравитации, окисления [1-3].

Целью данной работы являлось извлечение золота из сульфидной руды подземной добычи с применением методов гравитационного обогащения, предварительного окисления и последующего цианирования.

В качестве объекта исследований выбрана руда одного из месторождений Казахстана с содержанием золота 1,26 г/т. Химический состав исследуемой пробы руды представлен следующими основными элементами, %: Fe – 5,0; S – 1,12; As – 0,001; Cu – 0,016; Zn – 0,059; Au – 1,26 г/т; Ag – 2,0 г/т.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа показывают содержание значительного количества кремния - 21,88%, кислорода – 53,91%, железа – 6,26%, алюминия – 7,71%, кальция - 4,62%, магния и натрия – более 1,2% и др (табл.1).

Таблица 1 – Рентгенофлуоресцентный анализ золотосодержащей руды

Содержание элементов, %									
O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
53,917	1,239	1,743	7,710	21,886	0,063	0,336	0,020	1,039	4,626
V	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Pb	Ti
0,030	0,195	6,258	0,011	0,031	0,003	0,013	0,002	0,007	0,458

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение Cu –K α . По результатам рентгенофазового анализа установлено, что основными фазовыми составляющими являются кварц–48,2%, альбит–12,7 % (рисунок 1, таблица 2).

N 20

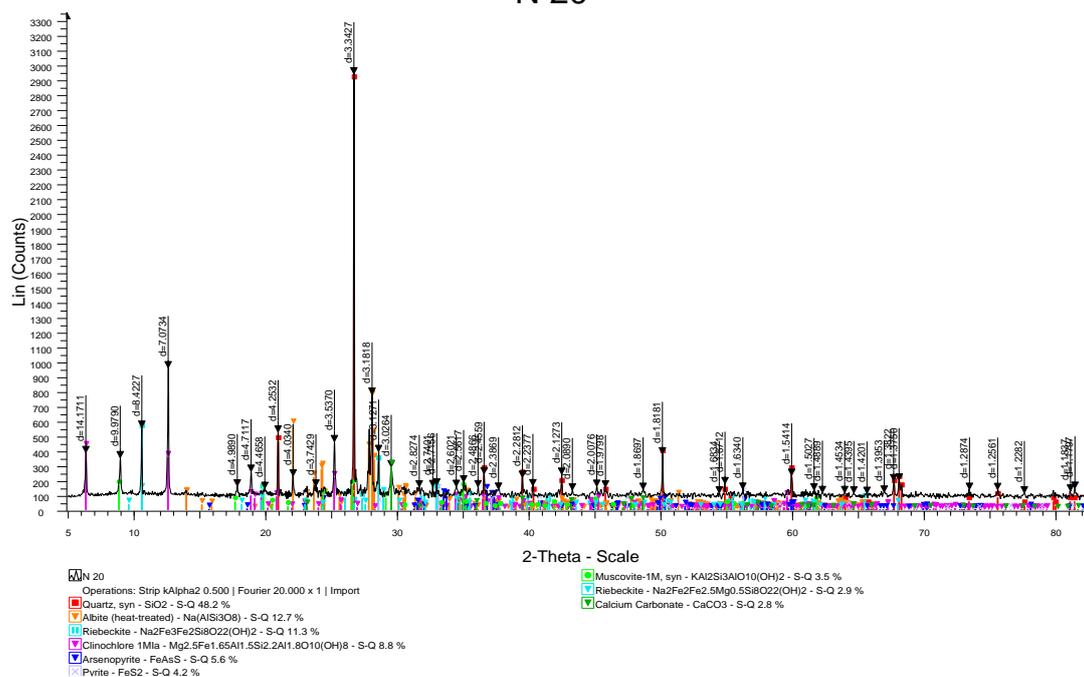


Рисунок 1 - Дифрактограмма исходной золотосодержащей руды

Таблица 2 – Результаты рентгенофазового анализа золотосодержащей руды

Compound Name	Formula	S-Q, %
Quartz, syn	SiO ₂	48.2
Albite (heat-treated)	Na(AlSi ₃ O ₈)	12.7
Riebeckite	Na ₂ Fe ₃ Fe ₂ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	11.3
Clinocllore 1Mla	Mg ₂ *5Fe*65Al*5Si ₂ *2Al*8O ₁₀ (OH) ₈	8.8
Arsenopyrite	FeAsS	5.6
Pyrite	FeS ₂	4.2
Muscovite-1M, syn	KAl ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	3.5
Riebeckite	Na ₂ Fe ₂ Fe _{2.5} Mg _{0.5} Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	2.9
Calcium Carbonate	CaCO ₃	2.8

Минералогическим анализом установлено, что форма зерен свободного золота – дендритная, октаэдрическая, игольчатая.

В лабораторных условиях выполнялись тест на центробежных концентраторе Knelson КС-МДЗ с трехстадиальной концентрацией при разных вариантах гравитационного падения (G).

Для дальнейшего исследования был выбран режим 120G, показавший наиболее эффективный результат. Гравитационное обогащение при режиме 120G, велось в три стадии на пробе с исходным содержанием 1,26 г/т. Полученные пробы крупностью -0,071+0 мм шли на третью стадию гравитации [4-6].

Полученные концентраты в ходе гравитационного обогащения имели достаточно большой выход по массовому соотношению, что лишь позволило достигнуть максимального содержания золота 4,3 г/т во второй стадии, в первой стадии оно при этом составило 3,2 г/т, в третьей – 2,6 г/т. Среднее содержание золота в объединенном концентрате составило 3,36 г/т, что дает суммарное извлечение золота в гравиоконцентрат 48,7%. В хвостах гравитации при этом остается 51,3% золота. Данные по результатам гравитационного обогащения в три стадии подробно отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты трехстадиального гравитационного обогащения

Трехстадиальная гравитация при 120G					
Фракция	Наименование	масса, кг	Выход, %	Au, г/т	E Au, %
90-100%, - 1,7мм	Концентрат I	0,585	11,7	3,2	20,8
90-100%, - 0,5мм	Концентрат II	0,372	7,44	4,3	17,8
90-100%, - 0,074мм	Концентрат III	0,348	6,96	2,6	10,1
	Хвосты после 3-х стадий	3,695	73,9	1,25	51,3
	Итого:	5,0	100	1,8	100,0
Объединенный концентрат 3-х стадий		1,305	26,1	3,36	48,7

Данные, приведенные в таблице 4, показывают, что в результате измельчения до $-0,071+0$ мм, при трехстадиальном гравитационном обогащении исходной руды, в концентраты всех трех стадий перешло 48,7% золота; а содержание золота в объединенном концентрате составило 3,36 г/т. Преобладающая часть золота исходной руды содержится в кристаллических структурах легких и органических минералов, которые не концентрируются в конусе чаши и вытесняются более тяжелыми минералами с незначительным содержанием золота.

Изучено влияние химического окислителя гипохлорита кальция на процесс цианирования руды. Цианид натрия (опыт 1, 3) и гипохлорит кальция (опыт 2, 4). Условия цианирования доизмельченной исходной руды и гравиконоцентрата (опыт 1, следующие: масса пробы 100 г (крупность 90-92% класса $-0,071+0$ мм), время 24 ч, Т:Ж=1:4, рН = 11,0. Извлечение золота из руды (опыт 2, табл. 5) с гипохлоритом кальция составило 88,8%. Предварительное окисление гравиконоцентрата с использованием гипохлорита кальция (опыт 4, табл. 5) составило 79,16%. Результаты влияния гипохлорита кальция на процесс выщелачивания исходной руды и гравиконоцентрата представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты цианирования исходной руды и гравиконоцентрата

Наименование показателей	Опыт 1 (исходная руда)	Опыт 2 (исходная руда)	Опыт 3 (гравиконоцентрат)	Опыт 4 (гравиконоцентрат)
Содержание золота в исходной пробе, г/т	1,26	1,26	3,36	3,36
Количество твердой фазы пробы, кг	0,1	0,1	0,1	0,1
Объем жидкой фазы пульпы, л	0,3	0,3	0,3	0,3
Концентрация NaCN, %	0,1	0,1	0,1	0,1
Содержание золота в кеке цианирования, г/т	0,42	0,14	1,84	0,7
Извлечение золота по твердому остатку (кек), %	66,6	88,8	45,23	79,16

Проведенные исследования показали возможность повышения степени извлечения золота из руды при использовании гипохлорита кальция с 66,6% до 88,8%, а также из гравиконоцентрата с 45,23 до 79,16%.

Существенным моментом является тот факт, что переход золота в хлоридные растворы начинается после окисления всех основных поглотителей гипохлорита, в том числе и углерода. Следовательно, фиксация золота в гипохлоритных растворах может

служить индикатором того, что процесс окисления компонентов-примесей гипохлоритом практически завершен.

Таким образом, выполненные исследования по определению влияния гипохлорита кальция на процесс цианирования указывают на эффективность его использования, и позволяет повысить извлечение золота из руды и гравиконоцентрата [6-9]. Учитывая различия в содержании золота в исходной руде 1,26 г/т и в получаемом гравитационном концентрате 3,36 г/т, при выщелачивании последнего в раствор переходит значительно большее количество благородного металла, чем из пробы не подвергавшейся гравитационному обогащению. Результаты, полученные в процессе экспериментов позволяют сформировать рекомендации по комплексной переработке данной пробы, включающей в себя гравитационное обогащение, предварительное окисление концентрата и последующее цианирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.B. Erdenova, A. K. Koizhanova, Eh.M. Kamalov, S.B. Yulusov, Zh.D. Zhanabai. Hydrometallurgical processing of persistent gold-bearing ores by traditional beneficiation methods // Complex use of mineral resource. - 2017. №2. - С.12-15.
2. Абдылдаев Н.Н., Усенов Н.А., Койжанова А. К., Есимова Д.М., Акчулакова С.Т. Определение вещественного состава золотосодержащего сырья и разработка технологии его переработки // Комплексное использование минерального сырья. -2017. - №3. - С. 11-15
3. Койжанова А.К., Ерденова М.Б., Осиповская Л.Л., Магомедов Д.Р., Даришева А.М. Совершенствование технологии кучного выщелачивания золота из упорных полиметаллических руд // Комплексное использование минерального сырья. - 2015. - №1. - С. 30-36
4. Dementyev V.E., Voloshnikov G.I. Irgiredmet experience on gold Biometallurgy // Proceedings of the 19 th Internatinal Biohydrometallurgy Symposium. – Changsha, China, 2011. Voll.2. - P.818-823
5. Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. - М.: Руда и Металлы, 2013. - 452 с.
6. Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Заулочный П.А., Кошель Е.А. Извлечение золота из упорных высокосульфидных концентратов с применением биогидрометаллургии //Цветные металлы. - 2012. - №4. – С.37-41.
7. Фомченко И.В., Муравьев М.И., Кондратьева Т.Ф. Переработка сульфидных концентратов и промпродуктов, содержащих золото и цветные металлы, с применением биогидрометаллургии //Матер. Межд.совещ. «Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья». - Томск: Изд-во ТПУ,2013. С.271-284.
8. Шкетова Л.Е., Копылова Н.В., Верхозина В.А. Исследования в области кучного биовыщелачивания сульфидных полиметаллических руд // Матер. VII Московского Межд. конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития». - Москва,19-22 марта 2013. Ч. 2. С. 191-192 .
9. Дроздов С.В. Проскуракова И.А., Белоусова Н.В. Влияние температуры, концентрации цианида натрия и крупности исходного материала на интенсивное цианирование золота из сульфидного гравитационного концентрата // Цветные металлы. 2011. - №10. - С.64-68.

LEACHING GOLD-CONTAINING RAW MATERIALS USING AN OXIDIZING AGENT

Kenzhaliyev B.K.^{1,2}, Koizhanova A.K.^{1,2}, Abdykirova G.Zh.¹, Kamalov E.M.¹,
ORCID: 0000-0003-1474-8354 0000-0001-9358-3193 0000-0001-5956-4730 0000-0002-6073-348X

***Magomedov D.R.¹**
0000-0001-7216-2349

¹“Institute of Metallurgy and Beneficiation” JSC, Almaty, Kazakhstan,
*davidmag16@mail.ru

²“Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev” NJSC,
Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The results of investigations on the gravitational enrichment and cyanidation of low-grade gold-bearing ore with its preliminary oxidation, crushed to 90% of the class size -0.071 + 0 mm are presented. The material composition of the ore with a gold content of 1.26 g / t of one of the deposits of Kazakhstan was studied. The phase and elemental compositions, the forms of gold finding and the nature of its connection with the ore components are studied by chemical, X-ray phase, X-ray fluorescent, rational and assay methods of analysis. Three-stage gravitational enrichment of ore was carried out, the maximum extraction of gold in the concentrate was 48.7%. Direct cyanide leaching of the initial ore and gravel concentrate with the calcium hypochlorite oxidizer crushed to a size of -0.071 + 0 mm (90%) allowed extracting 88.8% and 79.16% gold, respectively.*