

ISSN 1991-3494

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Ш Ы С Ы

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА
PUBLISHED SINCE 1944

4

АЛМАТЫ
АЛМАТЫ
ALMATY

2016

ШІЛДЕ
ИЮЛЬ
JULY

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

М. Ж. Жұрынов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы :

биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Айтхожина Н.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байпақов К.М.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байтулин И.О.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Берсімбаев Р.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Газалиев А.М.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Дүйсенбеков З.Д.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Елешев Р.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; фил. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Нысанбаев А.Н.**; экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА академигі **Сатубалдин С.С.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбжанов Х.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішева З.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Абсадықов Б.Н.** (бас редактордың орынбасары); а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баймұқанов Д.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Байтанаев Б.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Давлетов А.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Медеу А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Огарь Н.П.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Таткеева Г.Г.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Үмбетаев И.**

Р е д а к ц и я к е ñ е с і :

Ресей ҒА академигі **Велихов Е.П.** (Ресей); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Гашимзаде Ф.** (Әзірбайжан); Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Джрбашян Р.Т.** (Армения); Ресей ҒА академигі **Лаверов Н.П.** (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Москаленко С.** (Молдова); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Рудик В.** (Молдова); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Сагян А.С.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Тодераш И.** (Молдова); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Якубова М.М.** (Тәжікстан); Молдова Республикасының ҰҒА корр. мүшесі **Лупашку Ф.** (Молдова); техн. ғ. докторы, профессор **Абиев Р.Ш.** (Ресей); техн. ғ. докторы, профессор **Аврамов К.В.** (Украина); мед. ғ. докторы, профессор **Юрген Аппель** (Германия); мед. ғ. докторы, профессор **Иозеф Банас** (Польша); техн. ғ. докторы, профессор **Гарабаджиу** (Ресей); доктор PhD, профессор **Ивахненко О.П.** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Изабелла Новак** (Польша); хим. ғ. докторы, профессор **Полещук О.Х.** (Ресей); хим. ғ. докторы, профессор **Поняев А.И.** (Ресей); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); техн. ғ. докторы, профессор **Хрипунов Г.С.** (Украина)

Главный редактор

академик НАН РК

М. Ж. Журинов

Редакционная коллегия:

доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Н.А. Айтхожина**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **К.М. Байпаков**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **И.О. Байтулин**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Р.И. Берсимбаев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор с.-х. наук, проф., академик НАН РК **З.Д. Дюсенбеков**; доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Р.Е. Елешев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор фил. наук, проф., академик НАН РК **А.Н. Нысанбаев**; доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **С.С. Сатубалдин**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.М. Абжанов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **З.С. Абишева**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Н. Абсадыков** (заместитель главного редактора); доктор с.-х. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Д.А. Баймуканов**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.А. Байтанаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Е. Давлетов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А. Медеу**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.П. Огарь**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Г.Г. Таткеева**; доктор сельскохоз. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И. Умбетаев**

Редакционный совет:

академик РАН **Е.П. Велихов** (Россия); академик НАН Азербайджанской Республики **Ф. Гашимзаде** (Азербайджан); академик НАН Украины **В.В. Гончарук** (Украина); академик НАН Республики Армения **Р.Т. Джрбашян** (Армения); академик РАН **Н.П. Лаверов** (Россия); академик НАН Республики Молдова **С. Москаленко** (Молдова); академик НАН Республики Молдова **В. Рудик** (Молдова); академик НАН Республики Армения **А.С. Сагиян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **И. Тодераш** (Молдова); академик НАН Республики Таджикистан **М.М. Якубова** (Таджикистан); член-корреспондент НАН Республики Молдова **Ф. Лупашку** (Молдова); д.т.н., профессор **Р.Ш. Абиев** (Россия); д.т.н., профессор **К.В. Аврамов** (Украина); д.м.н., профессор **Юрген Аппель** (Германия); д.м.н., профессор **Иозеф Банас** (Польша); д.т.н., профессор **А.В. Гарабаджиу** (Россия); доктор PhD, профессор **О.П. Ивахненко** (Великобритания); д.х.н., профессор **Изабелла Новак** (Польша); д.х.н., профессор **О.Х. Полещук** (Россия); д.х.н., профессор **А.И. Поняев** (Россия); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); д.т.н., профессор **Г.С. Хрипунов** (Украина)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан». ISSN 1991-3494

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

M. Zh. Zhurinov,
academician of NAS RK

Editorial board:

N.A. Aitkhozhina, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **K.M. Baipakov**, dr. hist. sc., prof., academician of NAS RK; **I.O. Baitulin**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **R.I. Bersimbayev**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Z.D. Dyusenbekov**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **R.Ye. Yeleshev**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **T.Sh. Kalmenov**, dr. phys. math. sc., prof., academician of NAS RK; **A.N. Nysanbayev**, dr. phil. sc., prof., academician of NAS RK; **S.S. Satubaldin**, dr. econ. sc., prof., academician of NAS RK; **Kh.M. Abzhanov**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.S. Abisheva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.N. Absadykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **D.A. Baimukanov**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.A. Baytanayev**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A.Ye. Davletov**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A. Medeu**, dr. geogr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **N.P. Ogar**, dr. biol. sc., prof., corr. member of NAS RK; **G.G. Tatkeeva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **I. Umbetayev**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

E.P. Velikhov, RAS academician (Russia); **F. Gashimzade**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **V.V. Goncharuk**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **R.T. Dzhrbashian**, NAS Armenia academician (Armenia); **N.P. Laverov**, RAS academician (Russia); **S.Moskalenko**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Rudic**, NAS Moldova academician (Moldova); **A.S. Sagiyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **I. Toderas**, NAS Moldova academician (Moldova); **M. Yakubova**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **F. Lupaşcu**, NAS Moldova corr. member (Moldova); **R.Sh. Abiyev**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **K.V. Avramov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine); **Jürgen Appel**, dr.med.sc., prof. (Germany); **Joseph Banas**, dr.med.sc., prof. (Poland); **A.V. Garabadzhiu**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **O.P. Ivakhnenko**, PhD, prof. (UK); **Isabella Nowak**, dr.chem.sc., prof. (Poland); **O.Kh. Poleshchuk**, chem.sc., prof. (Russia); **A.I. Ponyaev**, dr.chem.sc., prof. (Russia); **Mohd Hassan Selamat**, prof. (Malaysia); **G.S. Khripunov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine)

Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 1991-3494

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

STUDY OF PROCESS CYANIDE LEACH GOLD FROM ORE AND GRAVITY CONCENTRATION TAILINGS SULFIDE AND OXIDE ORES

B. N. Surimbayev^{1,2}, A. O. Baikonurova¹, L. S. Bolotova², B. Mishra³

¹Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan,

²The Branch of the Republican State Enterprise «National center on complex processing of mineral raw materials of the Republic of Kazakhstan» State scientific-industrial association of industrial ecology "Kazmekhanobr", Almaty, Kazakhstan,

³Worcester Polytechnic Institute, Boston, USA.

E-mail: surimbaev@gmail.com, a.baikonurova@yandex.kz, L_bolotova@yahoo.com

Key words: cyanidation, leaching, gravity concentration, combined methods of beneficiation, gold.

Abstract. This article describes the performance of the cyanide leaching process gold from the ore and gravity separation tailings of sulphide and oxide ores. Assay results are obtained, the chemical and mineralogical analysis of samples carried out tests on samples of gravity concentration with further cyanidation tailings gravity. We conducted tests on the original ore cyanidation and cyanidation tests on gravity tails. Compare the results of the cyanide leach of the original ore cyanide leaching of gold from tailings gravity separation of sulphide and oxide ores.

УДК 622.772

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЦИАНИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ РУДЫ И ХВОСТОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ И ОКИСЛЕННЫХ РУД

Б. Н. Суримбаев^{1,2}, А. О. Байконурова¹, Л. С. Болотова², Б. Мишра³

¹Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

²Филиал РГП «НЦ КИМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан,

³Вустерский политехнический институт, Бостон, США

Ключевые слова: цианирование, выщелачивание, гравитационное обогащение, комбинированные методы обогащения, золото.

Аннотация. Рассмотрены показатели процесса цианидного выщелачивания золота из руды и хвостов гравитационного обогащения сульфидных и окисленных руд. Получены результаты пробирного, химического и минералогического анализов проб, проведены тесты по гравитационному обогащению проб с дальнейшим цианированием хвостов гравитации. Проведены тесты по цианированию на исходной руде и тесты цианирования на хвостах гравитации. Сравнены результаты цианидного выщелачивания из исходной руды с цианидным выщелачиванием золота из хвостов гравитационного обогащения сульфидных и окисленных руд.

В последние годы происходит значительное увеличение добычи благородных металлов, в частности золота. Это связано с тем, что золото является основным банковским металлом и является валютным резервом многих стран. Особенно актуальным этот вопрос является из-за нестабильности конвертируемых мировых валют, падением цен на ценные бумаги и последствий мирового финансового кризиса.

Золото в природе встречается, в основном, в самородном состоянии, главным образом в виде мелких зерен, вкрапленных в кварц, или содержащихся в кварцевом песке. В небольших количествах золото присутствует в сульфидных рудах железа, свинца и меди. Кларк золота составляет $5 \cdot 10^{-7}$. За всю историю человечеством добыто около 161 тысячи тонн золота (оценка на 2011 год). Если сплавить все это золото воедино, получится куб со стороной примерно 20 м [1].

В настоящее время 50 % выпускаемого золота используется в ювелирных изделиях, 40 % – в качестве инвестиции и остальные 10 % – в промышленности [2].

Мировой объем производства золота в 2014 году, согласно данным Metals Focus, составил 3133 тонн [3]. Крупнейшие страны-производители золота приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Двадцать ведущих золотодобывающих стран [3]

Место	Страна	Добыча, т	
		2013 г.	2014 г.
1	Китай	438,4	462,0
2	Австралия	268,1	272,4
3	Россия	248,5	266,2
4	США	230,1	210,8
5	Перу	182,4	171,0
6	ЮАР	179,5	167,9
7	Канада	124,7	151,3
8	Мексика	106,2	110,4
9	Гана	104,8	104,1
10	Бразилия	89,3	90,5
11	Индонезия	90,7	89,5
12	Узбекистан	81,0	85,0
13	Папуа-Новая Гвинея	67,5	67,2
14	Аргентина	51,2	60,0
15	Танзания	52,0	50,8
16	Казахстан	42,4	49,2
17	Мали	49,2	48,6
18	Чили	48,6	44,5
19	Колумбия	45,7	43,6
20	Филиппины	39,7	40,4
	Другие	520,9	547,7
	Всего в мире	3061	3133

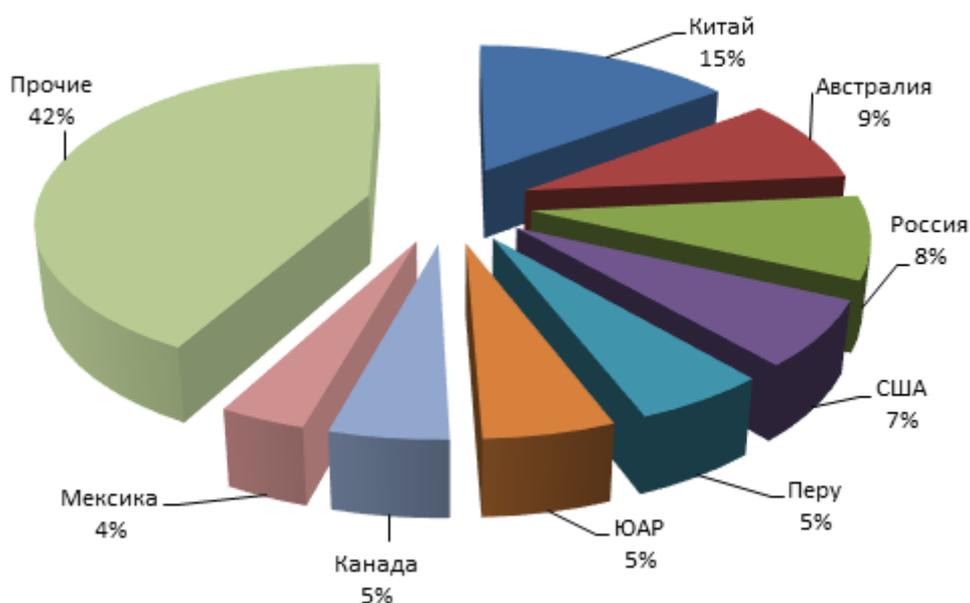


Рисунок 1 – Крупнейшие страны-производители золота

Казахстан находится на третьем месте по доказанным месторождениям золота среди стран СНГ после России и Узбекистана, а по добыче в мире – 16 место. По данным 2009 г. [4] ресурсы страны оцениваются в 1,8 тыс. т, запасы – около 800 т.

Золоторудные и золотосодержащие месторождения выявлены во всех регионах Республики Казахстан. По уровню запасов лидирующее положение занимают Восточный – около 52,2 % (Бакырчик, Суздальское, Большевик, Васильевское, Риддер-Сокольное, Жанан, Акжал, Каскабулак), Северный (Васильковское, Варваринское, Узбой, Сымбат, Комаровское, Элеваторное, Аккаргинское, Жетыгоринское) и Центральный Казахстан – 30 % (Аксу, Жолымбет, Бестюбе, Майкаин, Кварцитовые Горки, Енбекши, Пустынное), остальные 17,8 % – Южный (Акбакай, Алтынтас, Далабай, Аксакал-Бескемпир, Мынарал, Жаркулак, Карамурун, Архарлы, Кумысты) и Западный Казахстан (Юбилейное). Сырьевая база золотодобывающей промышленности Казахстана представлена в основном мелкими (с запасами до 25 т золота) и средними (от 25 до 100 т золота) месторождениями. В стране насчитывается 122 коренных золоторудных, 81 комплексных и 34 россыпных месторождений [5, 6].

Известно, что самым распространенным процессом извлечения золота из бедных руд является цианирование. В основе этого процесса лежит селективное выщелачивание золота или другого благородного металла водными растворами цианидов натрия, калия или кальция. Полученный раствор, содержащий растворенное золото, отправляют на переработку различными методами для получения товарного продукта высокого качества в виде сплава Доре в слитках. Полученный сплав отправляют на аффинажный завод для производства золота необходимой степени чистоты [7, 8].

Представляло интерес изучить эффективность извлечения золота при цианидном выщелачивании хвостов гравитационного обогащения для двух разнохарактерных руд золотосодержащего месторождения: окисленных и первичных (сульфидных). Изучаемое нами месторождение золота делится на два участка (Южный и Северный), каждый из которых имеет окисленные и первичные (сульфидные) зоны: ТЮ-1 – характеризующая руду окисленного типа участка Южный; ТЮ-2 – характеризующая сульфидные руды участка Южный; ТС-1 – характеризующая руду окисленного типа участка Северный; ТС-2 – характеризующая сульфидные руды участка Северный [9].

Среднее содержание золота в изученных пробах по результатам пробирно-гравиметрического анализа составило: ТЮ-1 – 1,54 г/т; ТЮ-2 – 2,735 г/т; ТС-1 – 0,95 г/т; ТС-2 – 1,335 г/т [10].

Промышленно значимым компонентом во всех пробах является только золото. Во всех пробах содержание вредных примесей, как мышьяк и сурьма, невелико. Цветные металлы, вследствие их небольшого количества, не представляют промышленной ценности. В таблице 2 представлен минеральный состав проб.

Таблица 2 – Минеральный состав проб золотосодержащих руд

Минералы	Содержание, %			
	окисленные пробы		сульфидные пробы	
	ТЮ-1	ТС-1	ТЮ-2	ТС-2
Рудные минералы				
Гетит, лимонит	7,0	4,5	–	–
Магнетит, гематит	2,3	2,3	3,5-4,0	2,0
Пирит	Зн.	Зн.	2,5-3,0	1,0
Сфалерит	–	–	Зн.	Зн.
Галенит	–	–	Зн.	–
Породообразующие минералы				
Монтмориллонит	48-49	44-45	–	–
Каолинит	25	30	–	–
Кварц	11-12	8-9	28-29	30,0
Амфибол	–	–	12-13	–
Хлорит	–	–	10	8
Альбит	–	4,0	14-15	14,0
Кальцит	–	–	8-9	10-11
Ортоклаз	2,0	3,0	8,0	8,0
Мусковит	2-3	2-3	6,0	6,0
Доломит	–	–	5-6	7

Из таблицы 2 следует, что рудные минералы в окисленных пробах представлены гидроксидами железа, магнетитом с гематитом ~ 2,3 % и знаковыми значениями пирита. Из нерудных преобладают глинистые минералы, подчиненное значение имеют кварц, мусковит, полевой шпат. Первичные руды представлены пиритом, магнетитом с гематитом, а из нерудных преобладают кварц, альбит, кальцит и амфибол.

По данным минералогического анализа установлено, что золото, и в окисленных, и первичных рудах находится в виде свободных крупных зерен, которые неравномерно распределены по массе руды.

Первоначально были проведены тесты по цианированию исходной руды, крупностью 80 % – 0,071 мм, при соотношении в пульпе Т:Ж = 1:2, рН пульпы за счет добавки извести 10–11, исходная концентрация NaCN 0,10 % (1,0 г/л), продолжительность выщелачивания 24 часа (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели выщелачивания золота из окисленных и сульфидных руд

Наименование параметров и показателей выщелачивания	Окисленные пробы		Сульфидные пробы	
	ТЮ-1	ТС-1	ТЮ-2	ТС-2
Содержание в жидкой фазе пульпы после 24 часов, мг/л:				
Au	0,813	0,490	1,48	0,710
Ag	0,10	0,08	0,39	0,36
Cu	0,50	8,40	28,60	88,50
Zn	1,09	6,60	1,92	1,84
NaCN, %	0,096	0,094	0,087	0,081
рН среды	10,2	10,5	10,89	11,0
Содержание Au в твердой фазе хвостов, г/т	0,02	0,02	0,26	0,16
Расчетное содержание Au в руде, г/т	1,65	1,00	3,22	1,58
Степень растворения Au, %	98,78	98,00	91,93	89,87
Содержание Au в руде по данным пробирного анализа, г/т	1,54	0,95	2,74	1,335

Полученные результаты цианидного выщелачивания золота показали высокую эффективность процесса. Степень растворения золота из обеих проб окисленной руды достигает 98 % при содержании золота в твердой фазе хвостов 0,02 г/т. Степень растворения золота из сульфидных руд – 89,8–91,9 % при содержании золота в твердой фазе хвостов 0,16–0,26 г/т.

Однако, отмечаются некоторые расхождения в расчетном содержании золота в руде по гравитационным тестам и результатом прямого пробирного анализа. Это вызвано наличием в руде достаточно крупного золота, которое неравномерно распределено в массе руды.

Для вывода из руды крупного золота используют предварительное гравитационное обогащение руды. Это позволяет исключить потери за счет недорастворения крупных золотин при дальнейшем цианидном выщелачивании.

Нами проведено гравитационное обогащение руды на центробежном концентраторе Нельсона при следующих условиях: масса пробы 3 кг; крупность 80 % класса – 0,071 мм; центробежное ускорение 60 G; расход флюидизирующей воды 3,5 л/мин; производительность по твердому 0,5–0,6 кг/мин; избыточное давление флюидизирующей воды 10–14 кПа; содержание твердого в пульпе, подаваемой на гравитационное обогащение, 25–30 %.

Результаты показателей гравитационного обогащения руд приведены в таблице 4.

Несмотря на то, что пробы окисленной руды ТЮ-1 и ТС-1 представлены в большей части глинистой составляющей (50–45 % монтмориллонита), гравитационное обогащение даже этих проб проходит достаточно эффективно. Извлечение золота в концентраты Нельсона из окисленных проб составило 21,4–22,0 %, что для бедных по содержанию золота глинистых руд является вполне приемлемым показателем.

Гравитационная обогатимость первичных проб существенно выше, чем окисленных. Наиболее высокое извлечение золота в гравитационный концентрат достигнуто при обогащении пробы ТЮ-2 – 66,5 %. Обогащение пробы ТС-2 также эффективно (43,4 %) даже при низком исходном содержании золота в руде (1,30 г/т). Наиболее высокие показатели по гравитационному обогащению пробы ТЮ-2 можно объяснить более высоким содержанием золота в исходной руде и наличием значительного количества достаточно крупных зерен самородного золота (рисунок 2).

Таблица 4 – Результаты гравитационного обогащения золотосодержащих руд

Продукт	Выход		Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
	г	%		
Проба руды ТЮ-1 (окисленная)				
Концентрат	77,8	2,60	14,13	22,08
Хвосты	2917,7	97,40	1,33	77,92
Руда	2995,5	100,00	1,66	100,00
Проба руды ТС-1 (окисленная)				
Концентрат	86,8	2,90	7,87	21,44
Хвосты	2909,8	97,10	0,86	78,56
Руда	2996,6	100,00	1,06	100,00
Проба руды ТЮ-2 (первичная)				
Концентрат	99,8	3,35	66,03	66,54
Хвосты	2881,5	96,65	1,15	33,46
Руда	2981,3	100,00	3,32	100,00
Проба руды ТС-2 (первичная)				
Концентрат	99,2	3,34	16,90	43,43
Хвосты	2873,1	96,66	0,76	56,57
Руда	2972,3	100,00	1,30	100,00

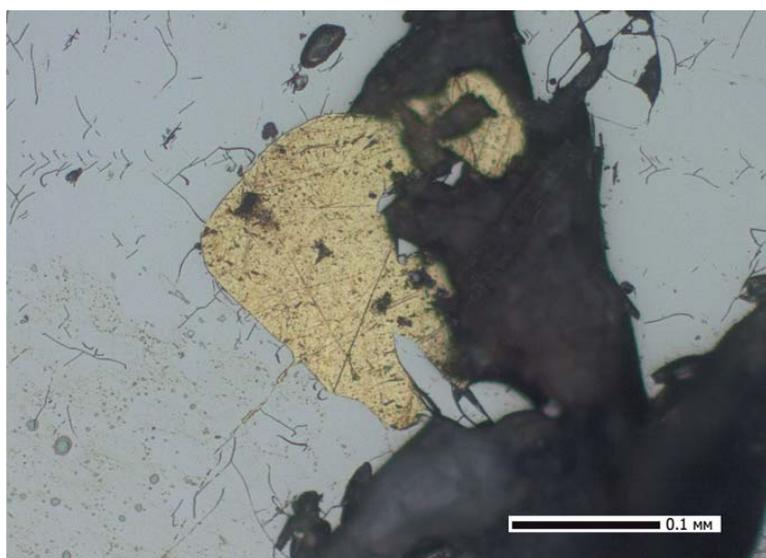


Рисунок 2 – Проба ТЮ-2. Золото в трещиноватом пирите в порфировой породе среднего состава.
Увел. 200 (размер зерен 0,015x0,05 мм)

Полученные хвосты гравитации были направлены на цианидное выщелачивание золота. Цианирование проведено при следующих режимных параметрах: соотношение в пульпе Т:Ж = 1:2, рН пульпы за счет добавки извести 10–11, исходная концентрация NaCN 0,05 % (0,5 г/л), продолжительность выщелачивания 24 часа. Результаты тестов по выщелачиванию золота из хвостов гравитации окисленных проб руды приведены в таблице 5, первичных проб руды – в таблице 6.

При использовании комплексной схемы гравитация-цианирование хвостов гравитации снизилось содержание золота в отвальных хвостах и повысилось суммарное извлечение золота.

Таким образом, применение предварительного гравитационного обогащения золотосодержащих руд перед их цианированием позволяет стабилизировать процесс растворения золота, а также повысить его эффективность.

Таблица 5 – Показатели выщелачивания золота из хвостов гравитационного обогащения окисленных проб руды ТЮ-1 и ТС-1

Наименование параметров и показателей выщелачивания	ТЮ-1		ТС-1	
	тест 1	тест 2	тест 1	тест 2
Загрузка СаО, кг/т	3,5	3,5	4,2	4,2
Содержание в жидкой фазе пульпы после 24 часов, мг/л:				
Au	0,893	0,870	0,559	0,579
Ag	0,140		0,110	
Cu	1,570		23,100	
Zn	1,320		1,410	
NaCN,%	0,049		0,049	
pH среды	10,55		10,45	
Содержание Au в твердой фазе хвостов, г/т	0,010	0,010	0,010	0,010
Расчетное содержание Au в хвостах гравитации, г/т	1,350	1,315	0,849	0,879
Степень растворения Au, %	99,26	99,24	98,82	98,86
Суммарное извлечение Au в гравииоконцентрат и цианидный раствор, %	99,41		99,03	

Таблица 6 – Показатели выщелачивания золота из хвостов гравитационного обогащения сульфидных проб руды ТЮ-2 и ТС-2

Наименование параметров и показателей выщелачивания	ТЮ-2		ТС-2	
	тест 1	тест 2	тест 1	тест 2
Загрузка СаО, кг/т	1,4	1,4	1,4	1,4
Содержание в жидкой фазе пульпы после 24 часов, мг/л:				
Au	0,658	0,681	0,395	0,412
Ag	0,33		0,24	
Cu	22,30		94,00	
Zn	1,01		0,51	
NaCN,%	0,049		0,043	
pH среды	10,95		10,99	
Содержание Au в твердой фазе хвостов, г/т	0,18	0,14	0,16	0,12
Расчетное содержание Au в хвостах гравитации, г/т	1,167	1,162	0,753	0,738
Степень растворения Au, %	84,58	87,95	78,74	83,74
Суммарное извлечение Au в гравииоконцентрат и цианидный раствор, %	95,20		91,44	

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Стоимость и запасы золота в мире. Аналитика // <http://ria.ru/infografika/20110824/422749631.html>
- [2] Soos, Andy. Gold Mining Boom Increasing Mercury Pollution Risk // <http://oilprice.com/Commodities/Gold/Gold-Mining-Boom-Increasing-Mercury-Pollution-Risk.html>
- [3] Lawrence Williams. Gold's Top 20 – Mines, miners and countries. Mineweb investment resource // <http://www.mineweb.com/regions/europe-and-middle-east/golds-top-20-mines-miners-and-countries/>
- [4] Донских А. Барьер для золота: Что мешает благородному металлу стать важным инструментом финансового рынка // Казахстанская правда. – 25 июня 2009. – С. 8.
- [5] Верхоzin С.С. Золотодобывающая промышленность Казахстана // <http://zolotodb.ru/news/11194>
- [6] Michael E. Wilson, Elena Lee. Kazakhstan's Gold Mining Sector and the New Regulation on Gold Sales. Alchemist issue sixty six. – 2012. – P. 12-15.
- [7] Marsden J., House I. The Chemistry of Gold Extraction // West Sussex. – England: Ellis Horwood, 1992.
- [8] Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. – М.: Руда и Металлы, 2013. – С. 130-135.
- [9] Суримбаев Б.Н., Болотова Л.С., Байконурова А.О., Б. Мишра. Изучение кинетики цианидного выщелачивания золота из окисленных и первичных руд // Materials of the international scientific-practical conference «Prospects for the development of modern science», Jerusalem, Israel, May 4-6, 2016. – С. 130-134.
- [10] Суримбаев Б.Н., Болотова Л.С., Байконурова А.О. Поведение золота при гравитационном обогащении окисленных и первичных руд одного из месторождения Казахстана // Материалы Международной научно-практической конференции Абишевские чтения-2016 «Инновации в комплексной переработке минерального сырья». – Алматы, 2016. – С. 358-362.

REFERENCES

- [1] Stoimost' i zapasy zolota v mire. Analitika // <http://ria.ru/infografika/20110824/422749631.html> (in Russ.)
- [2] Soos, Andy. Gold Mining Boom Increasing Mercury Pollution Risk // <http://oilprice.com/Commodities/Gold/Gold-Mining-Boom-Increasing-Mercury-Pollution-Risk.html> (in Eng.)
- [3] Lawrence Williams. Gold's Top 20 - Mines, miners and countries. Mineweb investment resource // <http://www.mineweb.com/regions/europe-and-middle-east/golds-top-20-mines-miners-and-countries/> (in Eng.)
- [4] Donskih A. Bar'er dlja zolota: Chto meshaet blagorodnomu metallu stat' vazhnym instrumentom finansovogo rynka. Kazhstanskaja pravda. 25 june 2009. P. 8 (in Russ.)
- [5] Verhozin S.S. Zolotodobyvajushhaja promyshlennost' Kazahstana // <http://zolotodb.ru/news/11194> (in Russ.)
- [6] Michael E. Wilson, Elena Lee. Kazakhstan's Gold Mining Sector and the New Regulation on Gold Sales. Alchemist issue sixty six. 2012. P. 12-15 (in Eng.)
- [7] Marsden J., House I. The Chemistry of Gold Extraction. West Sussex. England: Ellis Horwood, 1992 (in Eng.)
- [8] Zaharov B.A., Meretukov M.A. Zoloto: upornye rudy. M.: Ruda i Metally, 2013. P. 130-135 (in Russ.)
- [9] Surimbayev B.N., Bolotova L.S., Baikonurova A.O., B. Mishra. Izuchenie kinetiki cianidnogo vyshhelachivaniya zolota iz okislennyh i pervichnyh rud. Materials of the international scientific-practical conference «Prospects for the development of modern science», Jerusalem, Israel, May 4-6, 2016. P. 130-134 (in Russ.)
- [10] Surimbayev B.N., Bolotova L.S., Baikonurova A.O. Povedenie zolota pri gravitacionnom obogashhenii okislennyh i pervichnyh rud odnogo iz mestorozhdenija Kazahstana. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii Abishevskie chtenija-2016 «Innovacii v kompleksnoj pererabotke mineral'nogo syr'ja». Almaty, 2016. P. 358-362 (in Russ.)

**АЛТЫНДЫ КЕННЕН, СУЛЬФИДТІ ЖӘНЕ ТОТЫҚҚАН КЕНДІ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ
ҚАЛДЫҚТАРЫНАН ЦИАНИДТІ ШАЙМАЛАУ ӘДІСІН ЗЕРТТЕУ**

Б. Н. Сүрімбаев^{1,2}, Ә. Ө. Байқоңырова¹, Л. С. Болотова², Б. Мишра³

¹Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,

²«ҚР МШКҚӨҰО» РМК Мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі
филиалы «Қазмеханобр», Алматы, Қазақстан,

³Вустер политехникалық университеті, Бостон, АҚШ

Түйін сөздер: цианирлеу әдісі, шаймалау, гравитациялық байыту, байытудың аралас тәсілдері, алтын.

Аннотация. Мақалада алтынды кеннен, сульфидті және тотыққан кенді гравитациялық байытудан кейінгі қалдықтардан цианидті шаймалау әдісінің нәтижелері зерттелген. Химиялық және минералогиялық талдау нәтижелері алынды, гравитациялық байыту сынақтары және алынған гравитация қалдықтарын цианирлеу әдісі жүргізілді. Бастапқы кенді цианирлеумен қатар гравитация қалдықтарын цианирлеу әдісі жүргізілді. Бастапқы кен мен сульфидті және тотыққан кеннің гравитациялық байыту қалдықтарын цианирлеу нәтижелері салыстырылды.

Поступила 21.06.2016 г.

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

<http://www.bulletin-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 07.07.2016.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
17,4 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.