

ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Д.В.Сокольский атындағы «Жанармай,
катализ және электрохимия институты» АҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
АО «Институт топлива, катализа и
электрохимии им. Д.В. Сокольского»

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
JSC «D.V. Sokolsky institute of fuel, catalysis
and electrochemistry»

SERIES
CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

1 (439)

JANUARY – FEBRUARY 2020

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series of chemistry and technologies scientific journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы "ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы" ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия химии и технологий» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Б а с р е д а к т о р ы

х.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі

М.Ж. Жұрынов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Ағабеков В.Е. проф., академик (Белорус)
Волков С.В. проф., академик (Украина)
Воротынцев М.А. проф., академик (Ресей)
Газалиев А.М. проф., академик (Қазақстан)
Ергожин Е.Е. проф., академик (Қазақстан)
Жармағамбетова А.К. проф. (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Жоробекова Ш.Ж. проф., академик (Қырғыстан)
Иткулова Ш.С. проф. (Қазақстан)
Манташян А.А. проф., академик (Армения)
Пралиев К.Д. проф., академик (Қазақстан)
Баешов А.Б. проф., академик (Қазақстан)
Бүркітбаев М.М. проф., академик (Қазақстан)
Джусипбеков У.Ж. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Молдахметов М.З. проф., академик (Қазақстан)
Мансуров З.А. проф. (Қазақстан)
Наурызбаев М.К. проф. (Қазақстан)
Рудик В. проф., академик (Молдова)
Рахимов К.Д. проф. академик (Қазақстан)
Стрельцов Е. проф. (Белорус)
Тәшімов Л.Т. проф., академик (Қазақстан)
Тодераш И. проф., академик (Молдова)
Халиков Д.Х. проф., академик (Тәжікстан)
Фарзалиев В. проф., академик (Әзірбайжан)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы».

[ISSN 2518-1491 \(Online\)](#)

[ISSN 2224-5286 \(Print\)](#)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.)

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №1089-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219, 220 бөл.; тел.: 272-13-19; 272-13-18,
<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2020

Типографияның мекенжайы: «NurNaz GRACE», Алматы қ., Рысқұлов көш., 103.

Главный редактор

д.х.н., проф., академик НАН РК

М. Ж. Журинов

Редакционная коллегия:

Агабеков В.Е. проф., академик (Беларусь)
Волков С.В. проф., академик (Украина)
Воротынцев М.А. проф., академик (Россия)
Газалиев А.М. проф., академик (Казахстан)
Ергожин Е.Е. проф., академик (Казахстан)
Жармагамбетова А.К. проф. (Казахстан), зам. гл. ред.
Жоробекова Ш.Ж. проф., академик (Кыргызстан)
Иткулова Ш.С. проф. (Казахстан)
Манташян А.А. проф., академик (Армения)
Пралиев К.Д. проф., академик (Казахстан)
Баешов А.Б. проф., академик (Казахстан)
Буркитбаев М.М. проф., академик (Казахстан)
Джусипбеков У.Ж. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Мулдахметов М.З. проф., академик (Казахстан)
Мансуров З.А. проф. (Казахстан)
Наурызбаев М.К. проф. (Казахстан)
Рудик В. проф., академик (Молдова)
Рахимов К.Д. проф. академик (Казахстан)
Стрельцов Е. проф. (Беларусь)
Ташимов Л.Т. проф., академик (Казахстан)
Тодераш И. проф., академик (Молдова)
Халиков Д.Х. проф., академик (Таджикистан)
Фарзалиев В. проф., академик (Азербайджан)

«Известия НАН РК. Серия химии и технологии».

[ISSN 2518-1491 \(Online\)](#)

[ISSN 2224-5286 \(Print\)](#)

Собственник: Республиканское общественное объединение «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 №10893-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

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

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2020

Адрес редакции: 050100, г. Алматы, ул. Кунаева, 142,
Институт органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского,
каб. 310, тел. 291-62-80, факс 291-57-22, e-mail:orgcat@nursat.kz

Адрес типографии: «NurNaz GRACE», г. Алматы, ул. Рыскулова, 103.

E d i t o r i n c h i e f

doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK
M.Zh. Zhurinov

E d i t o r i a l b o a r d :

Agabekov V.Ye. prof., academician (Belarus)
Volkov S.V. prof., academician (Ukraine)
Vorotyntsev M.A. prof., academician (Russia)
Gazaliyev A.M. prof., academician (Kazakhstan)
Yergozhin Ye.Ye. prof., academician (Kazakhstan)
Zharmagambetova A.K. prof. (Kazakhstan), deputy editor in chief
Zhorobekova Sh.Zh. prof., academician (Kyrgyzstan)
Itkulova Sh.S. prof. (Kazakhstan)
Mantashyan A.A. prof., academician (Armenia)
Praliyev K.D. prof., academician (Kazakhstan)
Bayeshov A.B. prof., academician (Kazakhstan)
Burkitbayev M.M. prof., academician (Kazakhstan)
Dzhusipbekov U.Zh. prof., corr. member (Kazakhstan)
Muldakhmetov M.Z. prof., academician (Kazakhstan)
Mansurov Z.A. prof. (Kazakhstan)
Nauryzbayev M.K. prof. (Kazakhstan)
Rudik V. prof., academician (Moldova)
Rakhimov K.D. prof., academician (Kazakhstan)
Streltsov Ye. prof. (Belarus)
Tashimov L.T. prof., academician (Kazakhstan)
Toderash I. prof., academician (Moldova)
Khalikov D.Kh. prof., academician (Tadjikistan)
Farzaliyev V. prof., academician (Azerbaijan)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of chemistry and technology.
[ISSN 2518-1491 \(Online\)](#),

[ISSN 2224-5286 \(Print\)](#)

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 10893-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19; 272-13-18,
<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2020

Editorial address: Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry named after D. V. Sokolsky
142, Kunayev str., of. 310, Almaty, 050100, tel. 291-62-80, fax 291-57-22,
e-mail: orgcat@nursat.kz

Address of printing house: «NurNaz GRACE», 103, Ryskulov str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.12>

Volume 1, Number 439 (2020), 95 – 101

UDC 669.213.6

**A.K. Koizhanova, B.K. Kenzhaliyev, E.M. Kamalov,
M.B. Erdenova, D.R. Magomedov, N.N. Abdyl daev**

Satbayev University, «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC
050010, Almaty city, the Republic of Kazakhstan. Shevchenko str., 29/133

a.koizhanova@satbayev.university, bagdaulet_k@satbayev.university, e.kamalov@satbayev.university,
m.erdenova@satbayev.university, d.magomedov@satbayev.university, n.abdyl daev@satbayev.university

RESEARCH OF GOLD EXTRACTION TECHNOLOGY FROM TECHNOGENIC RAW MATERIAL

Abstract. The results of the leaching of the tailings from the heap leaching section with the aim of extracting gold associated with sulfides are presented. A representative sample of the tailings of the heap leaching section was selected and its chemical, phase, and mineralogical composition were studied. It was established that the test sample contains 1.2 g / t Au. According to a rational analysis, by sorption cyanidation at a fineness of 95% class minus 0.071 mm, 76.09% of gold is extracted from a sample of heap leaching tailings, which is mainly (71.74%) represented by intergrowths with ore and rock-forming components. The mass fraction of free (amalgamable noble metal is insignificant (4.35%). The main reason for the persistence to sorption cyanidation is the close association of gold with sulfide minerals. In the optimal mode of cyanidation of oxidation residues, 71.7 % of gold is recovered in 24 hours.

Keywords: gold, heap leaching tailings, phase composition, cyanide.

Introduction

Currently, the state of world mineral resources is characterized by a decrease in the quality of minerals. Due to the depletion of placer gold and silver deposits and the involvement of raw materials with a low content of valuable components and a complex composition, new, more modern and highly efficient technologies for their extraction are required. The intensification technologies currently used make it possible to obtain un-extracted gold from technogenic raw materials. Technogenic wastes are environmentally hazardous, they cause significant harm to the environment, polluting water bodies, soil and air, as dust storms increase the content of toxic elements in the air to a level exceeding the maximum permissible concentrations.

In article [1], dissolution of noble metals by solvents of various types was considered. It should be noted that one of the promising technologies for processing technogenic raw materials is chemical leaching with preliminary oxidation, nitric acid opening, and bacterial leaching [2-4].

Abroad, in particular, South Africa, the tails of gold deposits are involved in recycling, and in Russia example are the tailings of the processing plants of Baleizoloto LLC [5-7].

At present, most gold processing plants process ores in which sulfide minerals are present. Gold in such ores is partially associated with sulfides, and partially is in a free state. In most cases, ores of this type are classified as refractory [8-25].

Technological mineralogy methods allow us to identify useful and harmful minerals and their associations in ores, determine the features of their real composition and structure, the nature of relationships between themselves and with rock-forming phases, control, explain and predict the properties of ores in technological processes.

The raw materials for the re-extraction of gold are heap leach tailings, sorption tailings, flotation ore tailings and substandard raw material reserves. In this regard, the aim of the present research was to develop new methods for additional extraction of gold from the tailings of the heap leaching site.

Experimental methods and results

The object of research was the tailings from the heap leaching section of a gold extraction plant (Kazakhstan). The chemical composition of the studied tailings sample is represented by the following main components, %: 1,385Fe; 0.132 S_{total}; 0.005 Zn; 0.006 Cu; 1.4 g / t Au. A sample of the tailings of the heap leaching area is a finely ground material with a particle size of 90% of the class minus 0.071 mm.

The tail cyanidation products — solution and cake — were subjected to atomic adsorption and assay assays, respectively.

Electron microscopic studies of the main sulfide mineral, arsenopyrite, extracted from the initial tail sample, were performed on a JEOL JXA-8230 scanning electron microscope (Japan) equipped with an energy dispersive analyzer. As can be seen in Figure 1, pyrite, in addition to the main structural elements - iron and sulfur, also contains gold and trace elements of copper and zinc.

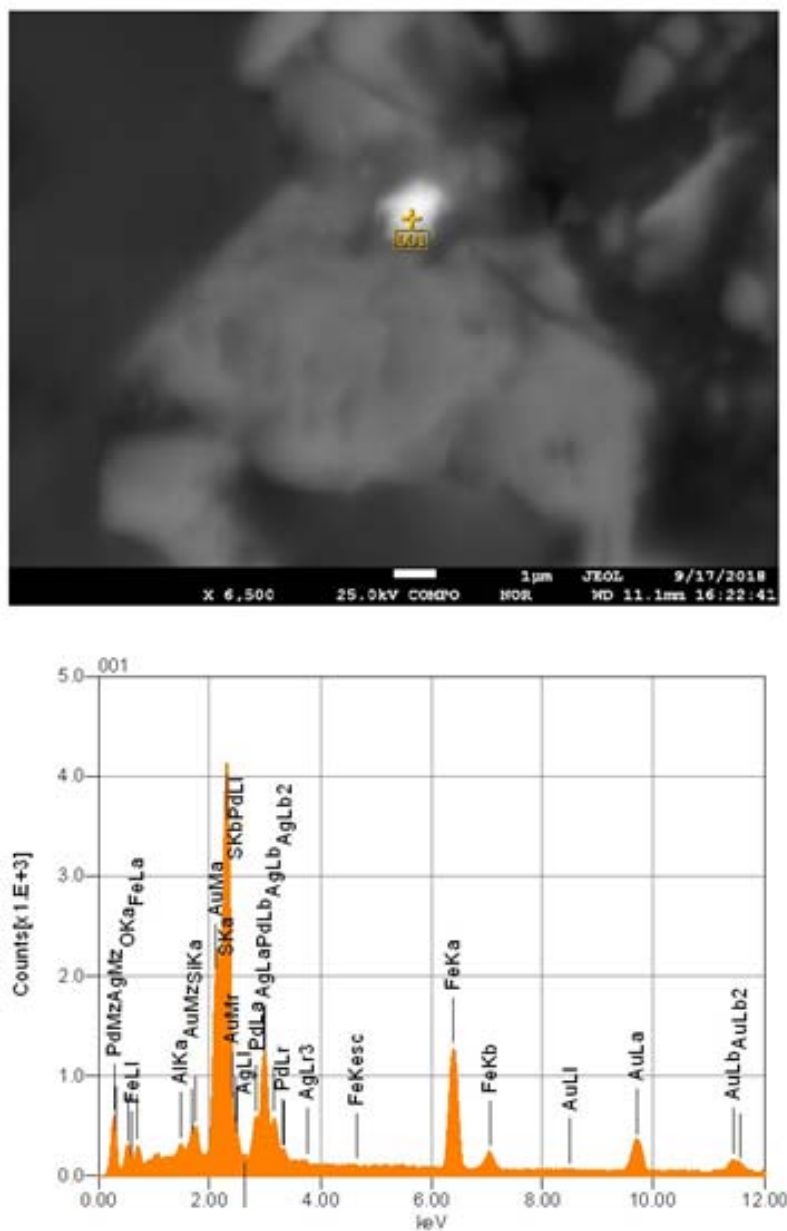


Figure 1 - The microstructure of the initial sample of the tailings (a) and energy dispersive analysis of pyrite (b)

It was established that silver, gold, and silicon are present in the microstructure of the sample. A large part is dominated by non-metallic minerals (quartz more than 30%). According to the electron - probe analysis, we see a particle of gold with a silver content, which develops in sulfides. The shape is gold-plate, irregular, isometric.

X-ray phase analysis showed that the main sulfide mineral in the sample is pyrite (5.8%). In addition, the tail contains a mineral, phyllosilicate of magnesium and aluminum with hydroxyl 7.3% clinoclhorine. The mineral composition of the test sample is represented by the following non-metallic components, %: 20.3 albite; 3.2 muscovite; 38.9 quartz; 4.6 calcite. Mineralogical analysis showed that gold is mainly present in finely divided form in quartz and sulfide. The particle size of free finely divided gold is 2.5–3.9 μm , in intergrowths it is 1.2–4.0 μm , and gold grains of irregular isometric shape.

From the results of a rational (phase) analysis of gold in the tails, finely ground to a fineness of 95% class –0.071 mm (table 1), it follows that 76.09% is extracted by sorption cyanidation. Of these, 71.74% fall to intergrowths with ore and rock-forming components, and 4.35% fall to free (amalgamable) metal.

Table 1 - The results of a rational analysis for gold samples of the tailings of the site of heap leaching

The forms of gold and the nature of their association with ore and rock-forming components	Gold allocation	
	g/t	%
Free gold (extractable by amalgamation)	0,040	4,35
In the form of intergrowths with ore and rock-forming components (extracted by sorption cyanidation)	0,660	71,74
Total in possible for cyanidation form	0,700	76,09
Extractable by cyanidation after treatment with alkali (associated with amorphous silica, coated with surface membrane)	0,050	5,62
Extractable by cyanidation after treatment with hydrochloric acid (associated with iron hydroxides, chlorites, carbonates, iron sulfates, sphalerite, etc.)	0,018	1,94
Extractable by cyanidation after treatment with nitric acid (associated with sulfides: pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, etc.)	0,120	13,02
Finely interspersed in rock-forming minerals	0,031	3,33
Total (on balance):	0,920	100,00

The mass fraction of refractory (not extractable by cyanidation) gold is 23.91%. It is mainly associated with sulfides (13.02%), partially - it is coated with surface membranes (5.62%). To a lesser degree, tenacity is affected by the relationship of gold with a complex of minerals soluble in hydrochloric acid — hydroxides, chlorites, and iron carbonates (1.94%).

Determination of the sorption activity of the solid phase was carried out according to the method of JSC Irgiredmet [8]. For this, two parallel cyanidation experiments were carried out on the ground ore sample: in the sorption mode in the presence of activated carbon with a concentration of 10 vol. % and without loading of activated carbon in the following conditions: ratio Liquid: Solid= 2: 1; NaCN concentration - 2.0 g / l; CaO loading - 3 kg / t; cyanidation duration - 24 hours

The relative sorption activity (A, %) was calculated by the formula:

$$A = \left(1 - \frac{R \cdot C_{Au}}{\beta_{source} - \beta_{cake}} \right) \cdot 100 \%,$$

where R – ratio L:S; C_{Au} – the concentration of gold in solution (in the experiment without a sorbent), mg/l; β_{source} and β_{cake} – accordingly, the gold content in the initial product and cyanide cake in the experiment with the sorbent, g / t

The experimental results are presented in the table 2.

Experimental part

Vat-agitation cyanide leaching of the initial sample of the tailings of the heap leaching site. The results of studies on propaganda cyanide leaching of tailings using an oxidizing agent and a surfactant are presented.

Table 2 - The results of experiments to determine the sorption activity of the tailings from the heap leach plot

Mass fraction of class minus 0.071 mm, %	Experimental conditions	Concentration Au in solution, mg/l	Au content in cake, g/t	Extract Au from operations, %	Relative sorption activity, %
95	Without sorbent	0,47	-	-	4,1
	With sorbent	-	0,22	82,1	

* gold content in the initial sample according to the analysis - 1.2 g / t

The results presented in table 2 show that the initial tailings sample does not have sorption activity with respect to the gold cyanide complex.

The optimal parameters for processing the tailings of the heap leaching section were selected by comparing various leaching variants. Taking into account the significant content of carbonates in the tails, in all cases they were pre-treated with acid in order to dissolve the carbonates.

In the process of preparing a sample of the tailings from the heap leaching site for hydrometallurgical studies, it was ground to a particle size of 0.040 mm in a planetary mill. Leaching pulp density is 30% solid. The pH of the pulp during leaching of the tests was maintained at a level of 10.5-11.0. Leaching time is 24 hours (Table 3).

Table 3 - Leaching of the initial sample tailings from the heap leaching section

Variant	The fineness of the material, mm	Gold Content, g / t		Gold extraction, %
		In the original	In cake	
<i>Direct cyanidation</i>				
1	90 % -0,071	1,2	0,54	55,0
2	90 % -0,04	1,2	0,52	56,7
<i>Using calcium hypochlorite Ca(ClO)₂</i>				
3	90 % -0,071	1,2	0,47	60,8
4	95 % -0,04	1,2	0,34	71,7

As a result, the following gold recovery indicators were obtained for various options for processing the tailings from the heap leaching samples: variant 1 - 55.0%; variant 2 - 56.7%; variant 3 - 60.8%; variant 4 - 71.7 %.

The results obtained indicate that in the process of leaching the tailings from the heap leaching section, sulfides are oxidized, resistant gold is opened and its extraction is increased during subsequent cyanidation of oxidation residues. Gold recovery reaches 60.8 and 71.7 %, respectively, in variants 3 and 4 of tailings processing.

Conclusion

It was revealed that the gold content in the test sample is 1.2 g / t. Gold is found in the form of very fine grains in sulfides (arsenopyrite, pyrite), as well as in a finely disseminated state in silicate minerals.

As a result of rational (phase) analysis, the mass fraction of refractory (not extractable by cyanidation) gold is 23.91%. It is mainly associated with sulfides (13.02%), partially - it is coated with surface films (5.62%).

Extraction of gold from the tailings from the heap leaching section with preliminary oxidation is 71.7 %.

This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan as part of program-targeted financing of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

**А.К. Койжанова, Б.К. Кенжалиев, Э.М. Камалов,
М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, Н.Н. Абдылдаев**

Сәтбаев Университеті, Металлургия және кен байыту институты» АҚ-ы, Алматы, Қазақстан

ТЕХНОГЕНДІ ШИКІЗАТТАРДАН АЛТЫН БӨЛІП АЛУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Қазіргі кезеңдегі алтын гидрометаллургиясының маңызды міндеті - оны техногендік шикізаттан бөрудің ұтымды әдістерін табу. Қалдықтарды қайта өңдеуге тарту үшін қалыпты емес әдістер қажет. Техногендік шикізатты өңдеудің перспективті технологияларының бірі - үлкен материалдық шығындарды қажет етпейтін және атмосфераны ластамайтын шаймалау процесінде алдын ала тотығуды қолдану. Бұл әдіс сульфидтердің терең ашылуына байланысты құрамында алтыны бар құрамында шикізаттан алтын алудың тотығу процесін күшейтуге мүмкіндік береді.

Сульфидтермен байланысты алтынды алу мақсатында үйінділерді қалдықтарын шаймалау нәтижелері келтірілген. Үйінділерді қалдықтарынан үлгілері алынып, оның химиялық, фазалық және минералогиялық құрамы зерттелді. Үлгідегі алтынның құрамы 1,2 г/т анықталды. Рационалды талдаудың нәтижесі бойынша, 95% класты 0.071 мм мөлшерінде сорбциялық цианидтендіру арқылы 76,09% алтын алынды, бұл негізінен кен және тау жыныстарын құрайтын өсінділермен ұсынылған (71,74%). Бос (араласатын асыл металдың) үлес салмағы шамалы (4,35%). Сорбциялық цианидтенудің негізгі себебі - алтынның сульфидті минералдармен тығыз байланысы.

Өңделуі қиын (алынбайтын сорбциялық цианизация) түрінде алтынның 23,91% құрайды. Ол келесідей бөлінеді: аморфты кремниймен байланысқан және беттік қабыршақтармен қапталған - 5,62%; тұз қышқылында еритін минералдар кешенімен байланысты (гидроксидтер, карбонаттар, темір хлориттері) - 1,94%; сульфидтермен байланысты: пирит, арсенопирит - 13,02%; тау жыныстары түзілген минералдармен өте жақсы араласады - 3,33%.

Электронды микроскопиялық анализ (SEM) арқылы үйінділерді шаймалау секциясының (жұқа секциялар) қалдықтарының бастапқы үлгісін зерттеу нәтижелері сынаманың микроқұрылымында күміс, алтын және кремний бар екенін көрсетті. Үлкен бөлігін металл емес минералдар құрайды (кварц 30% -дан астам). Электронды-зондтық анализге сәйкес, сульфидтерде дамиды күміс құрамы бар алтын бөлшегін көреміз. Пішіні алтын тәрізді, изометриялық.

Бастапқы үлгіні (жіңішке секцияларды) минералогиялық талдау бір жағдайда бос жынысы бар бөлшекке түтікшелі беті бар жұқа дисперсияланған Au (3.6x5.3 мк) таяз шығанақ тәрізді кірістірудің қарапайым жиегі табылғандығын көрсетті. (12x18 мк). Суретте алтынның көкшіл-жасыл реңкі бар, ол бор, ковеллит композицияларының болуы мүмкін екенін көрсетеді (Борнит - Cu₅FeS₄; Ковеллин - CuS). Мұндай фильмдер цианидтің алтынға қол жеткізуіне кедергі келтіреді. Күміс аз мөлшерде жұқа бөлшектер түрінде болады, мөлшері Ag-да (1-5,7 мк), негізінен еркін. Таралуы бойынша тізімделген ассоциацияланған компоненттер: Арс арсенопириті (FeAsS), пирит (FeS₂), халкопирит Sp (CuFeS₂) және аз магнетит Mgt (Fe₃O₄), сфалерит Сл (ZnS); және теннантит tn (Cu₁₂As₄S₁₃); бір жағдайда галена га (PbS) бар шоғырланған арсенопирит табылды.

Алынған нәтижелер үйінділерді шаймалау секциясының қалдықтарын сілтілеу процесінде сульфидтер тотығады, өңделуі қиын алтын ашылады және одан кейінгі тотығу қалдықтарын цианизациялау кезінде оның экстракциясы жоғарылайды.

Тотығу қалдықтарын цианидтендірудің оңтайлы жағдайында алтынның 71,7 % -ы 24 сағат ішінде алынады.

Түйін сөздер: алтын, шаймалау аймағының үйінділерінің қалдықтары, фазалық құрамы, цианидтеу.

**А.К. Койжанова, Б.К. Кенжалиев, Э.М. Камалов,
М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, Н.Н. Абдылдаев**

Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения»
Казахстан, 050010 Алматы, улица Шевченко 29/133

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Аннотация. Важнейшая задача гидрометаллургии золота на современном этапе - изыскание рациональных способов его извлечения из техногенного сырья. Для вовлечения отходов в переработку

требуются нетрадиционные методы. Одной из перспективных технологий переработки техногенного сырья является применение в процессе выщелачивания предварительное окисление, которое не требует больших материальных затрат и не загрязняет атмосферу. Этот метод позволяет интенсифицировать процесс окисления извлечения золота из упорного золотосодержащего сырья за счет более глубокого вскрытия сульфидов.

Приведены результаты процесса выщелачивания хвостов участка кучного выщелачивания с целью извлечения золота, ассоциированного с сульфидами. Осуществлен отбор представительной пробы хвостов участка кучного выщелачивания и изучены ее химический, фазовый и минералогический состав. Установлено, что в исследуемой пробе содержится 1,2 г/т Au. По данным рационального анализа сорбционным цианированием при крупности 95 % класса минус 0,071 мм из пробы хвостов кучного выщелачивания извлекается 76,09 % золота, которое в основном (71,74 %) представлено сростками с рудными и породообразующими компонентами. Массовая доля свободного (амальгамируемого благородного металла незначительна (4,35 %). Основной причиной упорности к сорбционному цианированию является тесная ассоциация золота с сульфидными минералами.

В упорной (не извлекаемой сорбционным цианированием) форме находится 23,91 % золота. Оно распределено следующим образом: ассоциированное с аморфным кремнеземом и покрытое поверхностными пленками - 5,62 %; ассоциированное с комплексом минералов, растворимых в соляной кислоте (гидроксидами, карбонатами, хлоритами железа) - 1,94 %; связанное с сульфидами: пиритом, арсенопиритом - 13,02 %; тонко вкрапленное в породообразующие минералы - 3,33 %.

Результаты исследования исходного образца хвосты участка кучного выщелачивания (шлифов) методом электронно-микроскопического анализа (РЭМ) показали, что в микроструктуре пробы присутствуют серебро, золото, кремний. Большую часть преобладают нерудные минералы (кварц более 30%). По данным электро - зондового анализа мы видим частичку золото с содержанием серебра, который развивается в сульфидах. Форма золотинпластинчатая, неправильная, изометричная.

Минералогический анализ исходного образца (шлифов) показали, что в единичном случае обнаружен простой краевой сросток золота, представленный неглубоким заливообразным включением тонкодисперсного Au (3,6x5,3 мк) с бугорчатой поверхностью в частице вмещающей пустой породы п.п. (12x18 мк). На снимке золото имеет синевато-зеленоватый оттенок, свидетельствующий о наличии пленок, вероятно борнит-ковеллинового состава (Борнит – Cu_5FeS_4 ; Ковеллин - CuS). Подобные пленки затрудняют доступ цианида к золоту. Серебро присутствует в незначительном количестве в виде тонкодисперсных частиц с вариацией размеров в пределах Ag (1-5,7 мк), преимущественно в свободной форме. Сопутствующие компоненты, перечисленные в порядке их распространенности, представлены: арсенопиритом Ars ($FeAsS$), пиритом (FeS_2), халькопиритом Cp ($CuFeS_2$), и реже магнетитом Mgt (Fe_3O_4), сфалеритом Sl (ZnS); и теннантитом tn ($Cu_{12}As_4S_{13}$); в единичном случае обнаружен сросток арсенопирита с галенитом ga (PbS)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе выщелачивания хвостов участка кучного выщелачивания происходит окисление сульфидов, вскрытие упорного золота и повышение его извлечения при последующем цианировании остатков окисления.

В оптимальном режиме цианирования остатков окисления за 24 ч извлекается 71,7 % золота.

Ключевые слова: золото, хвосты участка кучного выщелачивания, фазовый состав, цианирование.

Information about the authors:

Koizhanova Aigul Kayrgeldyevna – candidate of technical sciences, head of the laboratory of special methods of hydrometallurgy named after Beysembaev B.B. Satbayev University, «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC of the Republic of Kazakhstan. E-mail: a.koizhanova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-9358-3193>

Kenzhaliyev Bagdaulet Kenzhalievich - Chairman-General Director-Chairman of the Board of JSC "Imio", doctor of technical Sciences, Professor, Satbayev University, «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC of the Republic of Kazakhstan. E-mail: bagdaulet_k@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>

Kamalov Emil Maksutovich - senior researcher of the laboratory of special methods of hydrometallurgy named after Beysembaev B.B. Satbayev University, «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC of the Republic of Kazakhstan. E-mail: e.kamalov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-6073-348X>

Erdenova Maria Beisembetovna - junior researcher of the laboratory of special methods of hydrometallurgy named after Beysembaev B.B. Satbayev University, «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC of the Republic of Kazakhstan. E-mail: m.erdenova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-7496-5097>

Magomedov David Rasimovich - lead engineer of the laboratory of special methods of hydrometallurgy named after Beysembaev B.B. Satbayev University, «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC of the Republic of Kazakhstan. E-mail: d.magomedov@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-7216-2349>

Abdyldaev Nurgali Nurlanovich – engineer of the laboratory of special methods of hydrometallurgy named after Beysembaev B.B. Satbayev University, «Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation» JSC of the Republic of Kazakhstan. E-mail: n.abdyldaev@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0001-8145-5741>

REFERENCES

- [1] Koizhanova A., Mukusheva A., Osipovskaya L., Erdenova M. Study of Sorption Kinetics in Processes of Precious Metals Recovery // Proceedings of XXVI International mineral Processing Congress - IMPC 2012. New Delhi, India, 24–28 September 2012. P. 590–601.
- [2] Chanturia V.A. The main directions of complex processing of mineral raw materials // Mining magazine. 1995. No. 1. P. 50-54.
- [3] Begalinov A., Yakovlev A.P. idr. Tiosul'fatnoye vyshchelachivaniye zolota. Teoriya I praktika. Almaty. 2001. 254 p.
- [4] Meretukov V.V. Osnovy blagorodnykh metallov, Moskva. 1990. 416 p.
- [5] Lodeyshchikov V.V. Tekhnologiya izvlecheniya zolota I serebra iz upornykh rud: V 2 t. – Irkutsk: Izd-vo Irgiredmet. 1999. T. 2. 452 p.
- [6] Sedel'nikova G. V., Kim D. KH., Ibragimova N. V. Sravneniye sovremennoy tekhnologii kuchnogo bakterial'nogo vyshchelachivaniya s traditsionnoy flotatsionno-tsiyanistoy pererabotkoy upornoy zolotosul'fidnoy medno-tsinkovoy rudy // Rudy imetally. 2015. № 3. pp. 59–69.
- [7] Yerdenova M.B., Koyzhanova A.K., Kamalov E.M., Abdylidayev N.N., Abubakriyev A.T. Doizvlecheniye zolota iz otkhodov pererabotki zolotosoderzhashchikh rud. Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya. 2018. № 2. 12-20 pp. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.2>.
- [8] M-L1-01-2009. Metodika: «Ratsional'nyy analiz na zoloto I srebro rud I produktov ikh pererabotki», AO «Irgiredmet». Informatsionnaya zapiska. 2019. 11 p.
- [9] Gusakov M., Krylova L. Technological properties of solutions of ferric iron produced by iron-oxidizing microorganisms // Proceedings of XXVI International mineral Processing Congress - IMPC 2012. New Delhi, India, 24–28 September 2012. 467 p.
- [10] Strizhko LS, Bobokhonov BA, Rabiev BR, Boboev IR Technologies of gold-bearing ore processing / Mining magazine. 2012. No. 7. P. 45-50.
- [11] Kenzhaliyev B.K., Koizhanova A.K., Sedelnikova G.V., Surkova T.Yu., Kamalov E.M., Erdenova M.B., Magomedov D.R. Extraction of gold from flotation tails of gold-processing plant. Izvestiya NAN RK. 2017. № 5. P. 62-69.
- [12] Golik VI, Logachev AV, Luzin BS Int. scientific and practical conference "Improving the quality of education and research". - Ekibastuz, 2009. P. 342-347.
- [13] Turin KK, Bashlykova TV, Ananyev PP, Boboev IR, Gorbunov EP Non-ferrous metals. 2013. Vol. 5. P. 39-43.
- [14] Loley T, Meretukov MA, Strizhko LS, Gurin K.K. Textbook. allowance. Moscow: Izd.-in House MISiS. 2012. 196 p.
- [15] Drozdov S. V., Proskuryakova I. A., Belousova N. V. Vliyaniye temperatury, kontsentratsii sianida natriya I krupnosti iskhodnogo materiala na intensivnoye sianirovaniye zolota iz sul'fidnogo gravitatsionnogo kontsentrata // Tsvetnyyemetally. 2011. Vol. 10. C. 64–68.
- [16] Smolyaninov V. V., Shekhvatova G. V., Vaynshteyn M. B. Vyshchelachivanie zolota politionatami (novyene toksichnyye tekhnologii) (Gold leaching by polythionates (new toxic technologies)). Tsvetnyyemetally. 2012: sbornik nauchnykh statey (Non-ferrous metals – 2012: collection of scientific articles). Krasnoyarsk : Verso, 2012. pp. 617–624.
- [17] Zakharov B. A., Meretukov M. A. Zoloto: uporny rudy (Gold: refractory ores). Moscow: "Ore and Metals" Publishing House. 2013. 452 p.
- [18] Gurin K. K., Bashlykova T. V., Ananov P. P., Boboev I. R., Gorbunov E.P. Izvlecheniye zolota iz khvostov zolotoizvlekatel'noy fabriki ot pererabotki upornykh rud smeshannogo tipa (Extraction of gold from the gold-extraction plant tailings, formed as a result of processing of mixed refractory ores). Tsvetnyyemetally = Nonferrous metals. 2013. Vol. 5. pp. 39–43.
- [19] Johnson D. B., Grail B. M., Hallberg K. B. A new direction for biomining: extraction of metals by reductive dissolution of oxidized ores. Minerals. 2013. Vol. 3 (1). pp. 49–58.
- [20] Willner J., Fornalczyk A. Extraction of metals from electronic waste by bacterial leaching. Environment protection engineering. 2013. Vol. 39, No. 1. pp. 197–208.
- [21] Kenzhaliyev, B. K. Innovative technologies providing enhancement of non-ferrous, precious, rare and rare earth metals extraction. Complex Use of Mineral Resources (Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'ya). 2019. 3(310), 64–75. Available at: <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>
- [22] Koyzhanova, A.K., et al., Research on the technology for recovering gold from spent heap leaching ore piles. Obogashchenie Rud. Volume 2019, Issue 3, 2019, Pages 54-59. Available at: <https://doi.org/10.17580/or.2019.03.09>.
- [23] Yessengazyev, A., et al. Research of the leaching process of industrial waste of titanium production with nitric acid. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2019. 54(5) C. 1061-1071.
- [24] Abubakriyev A.T., Koyzhanova A.K., Arystanova G.A., Abdyldayev N.N., Magomedov D.R. Pererabotka pervichnykh zolotosoderzhashchikh rudnykh koncentratov. (Processing of primary gold-containing ore concentrates) Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral resources. 2017. 4. 18-26. (in Russ).
- [25] Koyzhanova A. K. Sedel'nikova G. V. Kamalov Je. M., Erdenova M. B., Abdyldayev N.N. Izvlecheniye zolota iz lezhalykh khvostov zolotoizvlekatel'noy fabriki (Extraction of gold from the stale tails of the gold recovery factory) / Otechestvennaya geologiya. 2017. 6, 98–102. (in Russ).

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://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

[ISSN 2518-1491 \(Online\)](#), [ISSN 2224-5286 \(Print\)](#)

Редакторы: *М. С. Ахметова, Г. Б. Халидуллаева, Д. С. Аленов*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 13.02.2020.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
7,8 п.л. Тираж 300. Заказ 1.