



DOI: 10.31643/2020/6445.08

УДК 669.21/23

МРНТИ 55.37.33

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

## Изучение процесса цианидного выщелачивания золота с применением ацетата натрия при различной крупности руды

Есенгараев Е. К., Баимбетов Б. С., Мамяченков С. В., Суримбаев Б. Н., Прозор Н. Г.

*Received: 23 January 2020 / Peer reviewed: 27 January 2020 / Accepted: 10 February 2020*

**Абстракт.** Интенсификация добычи металла выщелачиванием – это проведение комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на достижение наиболее быстрого и полного извлечения металла из руды. Мероприятия по интенсификации выщелачивания направлены на полную или частичную нейтрализацию причин, вызывающих снижение скорости выщелачивания. Проведены испытания по цианидному выщелачиванию золота из золотосодержащей руды с добавкой ацетата натрия для интенсификации процесса выщелачивания. Представлены результаты пробирно-гравиметрического, химического, минералогического и гранулометрического анализа окисленной руды. По данным электронно-зондового анализа золото в руде присутствует в виде тонких (микронных) включений в минералах и рудных пород. Проведено исследование по выщелачиванию измельченной руды крупностью 90% класса -0,074 мм и дробленной руды крупностью -12+0 мм. Выщелачивание измельченной руды крупностью 90% класса -0,074 мм показало, что при добавлении ацетата натрия степень извлечения золота увеличивается на 1,13 % по сравнению с выщелачиванием без добавления данного реагента. При выщелачивании дробленной руды крупностью -12+0 мм с добавкой ацетата извлечение золота увеличивается в среднем на 4 %, и улучшается кинетика растворения золота. Данные исследований доказывают, что ацетат натрия можно использовать для интенсификации золота при крупности руды -12+0 мм и в более крупных классах руды для выщелачивания золота.

**Ключевые слова:** интенсификация процесса выщелачивания, ацетат натрия, выщелачивание, кучное выщелачивание, золото, химический реагент.

### Information about the authors / Сведения об авторах:

**Yessengarayev Ye. K.** - PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, 050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, st. Satpayev, 22a; Laboratory of Precious Metals, State Scientific and Production Association of Industrial Ecology "Kazmekhanoobr", 050036, Republic of Kazakhstan, Almaty, st. Zhandosova, 67 / B. Tel: + 7-7753694895, ORCID ID: 0000-0001-8487-7464, E-mail: y.yessengarayev@stud.satbayev.university; **Baimbetov B.S.** - Cand. those. sciences, ass. prof. Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, 050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, st. Satpayev, 22a. ORCID ID: 0000-0003-4442-5038, E-mail: b.baimbetov@satbayev.university; **Mamyachenkov S. V.** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metallurgy of Non-Ferrous Metals, Head of the Basic Department of Metallurgy, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Russia, 620075, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, prosp. Lenin, 51. ORCID ID: 0000-0001-6070-8746, E-mail: s.v.mamiachenkov@urfu.ru; **Surimbaev B. N.** - PhD, Senior Researcher, Laboratory of Precious Metals. State Scientific and Production Association of Industrial Ecology "Kazmekhanoobr", 050036, Republic of Kazakhstan, Almaty, st. Zhandosova, 67 / B. ORCID ID: 0000-0002-3988-8444. E-mail: surimbaev@gmail.com; **Prozor N.G.** - Head of the Chemical Analytical Laboratory, Zarkuh mining company, Iran, 1556838111, Tehran, 1 floor, Iran Ertebat Building, No.2, 4th Alley, Shahid Ghandi St., North Sohrevardi Ave.

**Есенгараев Е. К.** – докторант, Satbayev University, г. Алматы, Казахстан, 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Саптаева, 22а; научный сотрудник лаборатории благородных металлов, Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр», 050036, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Жандосова, 67/Б. Тел: +7-7753694895, ORCID ID: 0000-0001-8487-7464, E-mail: y.yessengarayev@stud.satbayev.university; **Баимбетов Б. С.** – канд. тех. наук, асс. проф. кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых», Satbayev University, г. Алматы, Казахстан, 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Саптаева, 22а. ORCID ID: 0000-0003-4442- 5038, E-mail: b.baimbetov@satbayev.university; **Мамяченков С. В.** – д.т.н., проф., Заведующий кафедрой «Металлургия цветных металлов», Заведующий базовой кафедрой «Металлургия», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620075, Свердловская обл., г. Екатеринбург, просп. Ленина, 51. ORCID ID: 0000-0001-6070-8746, E-mail: s.v.mamiachenkov@urfu.ru; **Суримбаев Б. Н.** – PhD, старший научный сотрудник лаборатории благородных металлов. Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр», 050036, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Жандосова, 67/Б. ORCID ID: 0000-0002-3988-8444. E-mail: surimbaev@gmail.com; **Прозор Н. Г.** – начальник химико-аналитической лабораторией, Zarkuh mining company, Иран, 1556838111, Тегеран, 1st floor, Iran Ertebat Building, No.2, 4th Alley, Shahid Ghandi St., North Sohrevardi Ave.

## Введение

Процесс кучного выщелачивания, позволяющий вовлекать в отработку крупные месторождения с бедными рудами, стал главным фактором развития золотодобычи в США, Австралии, Канаде, Мексике, Бразилии, России, Китае и Казахстане и дал возможность за тридцать лет в 2-4 раза увеличить добычу золота [1-6].

Однако, в связи химическими, минералогическими, структурными и физическими характеристиками породы и гранулометрическим составом руд извлечение ценных металлов методом кучного выщелачивания редко достигает 70-80 %, а процессы и способы его интенсификации весьма перспективны и актуальны [1-3, 7-10].

Интенсификация добычи металла выщелачиванием – это проведение комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на достижение наиболее быстрого и полного извлечения металла из руды. Мероприятия по интенсификации выщелачивания направлены на полную или частичную нейтрализацию причин, вызывающих снижение скорости выщелачивания [3, 8, 10].

Известны следующие способы интенсификации процесса выщелачивания [11, 12]:

- механические, предусматривающие изменение напряженно-деформируемого состояния и дисперсного состава гетерогенной среды на основе нарушения равновесия действующих в массиве сил сцепления;

- физические способы, предусматривающие изменение состояния гетерогенной среды, в том числе агрегатного (твердого, жидкого, газообразного);

- химические, связанные с изменением состава веществ, составляющих гетерогенную среду, но без изменения ее состояния;

- биологические, основанные на каталитической роли микроорганизмов при растворении минералов и породы;

- комбинированные способы, при которых имеет место совместное действие физических, химических и механических факторов интенсификации выщелачивания металлов.

В настоящее время из литературных источников и опыта работы золотодобывающих фабрик широко известно использование для интенсификации процессов цианирования различных химических добавок [13-29], таких как кислород [13-16], пероксид водорода [16, 17], перманганат калия [18-20], персульфатов аммония и калия [3, 21], гипохлорита натрия [3, 22] и т.д.

В работах [23-25, 28, 29] для интенсификации процесса выщелачивания богатых золотосодержащих гравитационных концентратов использовался уксусная кислота. Но в данных работах еще не использовался ацетат натрия, который может также интенсифицировать процесс выщелачивания золота. В настоящей работе, с целью интенсификации процесса, изучены показатели цианидного выщелачивания золота из руды с низким его содержанием, при добавлении ацетата натрия.

## Экспериментальная часть

Для исследований использована золотосодержащая руда месторождения Сари-Гунай (Иран). По результатам пробирного анализа среднее содержание золота в руде составляет 2,90 г/т, в пределах от 2,80 г/т до 3,10 г/т. Химический состав представлен в таблице 1.

**Таблица 1** Химический состав золотосодержащей руды месторождения Сари-Гунай

Компоненты	Содержание, %	Компоненты	Содержание, %
Cu	0,009	SiO <sub>2</sub>	61,4
Zn	0,0082	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,7
Ni	0,0003	TiO <sub>2</sub>	0,49
Pb	0,108	MgO	0,80
Mn	0,0005	CaO	0,31
Co	0,0003	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21
Cr	0,0013	Fe <sub>общ.</sub>	2,67
Mo	0,0001	Fe <sub>ок.</sub>	0,44
Hg	0,0025	Fe <sub>с.</sub>	2,23
As	0,11	S <sub>общ.</sub>	1,48
Sb	0,0563	S <sub>сульфидная</sub>	0,73
K <sub>2</sub> O	7,30	S <sub>сульфатная</sub>	0,75
Na <sub>2</sub> O	1,34	Степень окисления серы	50,7

В руде промышленно ценным компонентом являются золото. Остальные металлы промышленного значения не имеют вследствие их малого содержания. Массовая доля общей серы 1,48 %, сульфидной – 0,73 %. По содержанию сульфидной серы руда относится к категории малосульфидной, по степени окисления серы (50,7 %) – к категории окисленных руд. Особенностью породы является незначительное содержание железа общего - 2,67 %, при этом сульфидное железо (2,23 %), в основном связано с пиритом.

Рентгено-дифрактометрический анализ средних проб выполнен на дифрактометре ДРОН-4 с  $\text{Cu}$  –излучением, графитовый монохроматор. Условия съемки дифрактограмм:  $U=35 \text{ kV}$ ;  $I=20 \text{ mA}$ ; шкала: 2000 имп.; постоянная времени 2с; съемка  $2\theta$ - $2\theta$ ; детектор 2 град/мин.

Идентификация минеральных фаз по данным рентгено-дифрактометрического анализа показана на рисунке 1, а результаты расчета количественного соотношения рудных и породных минералов приведены в таблице 2.

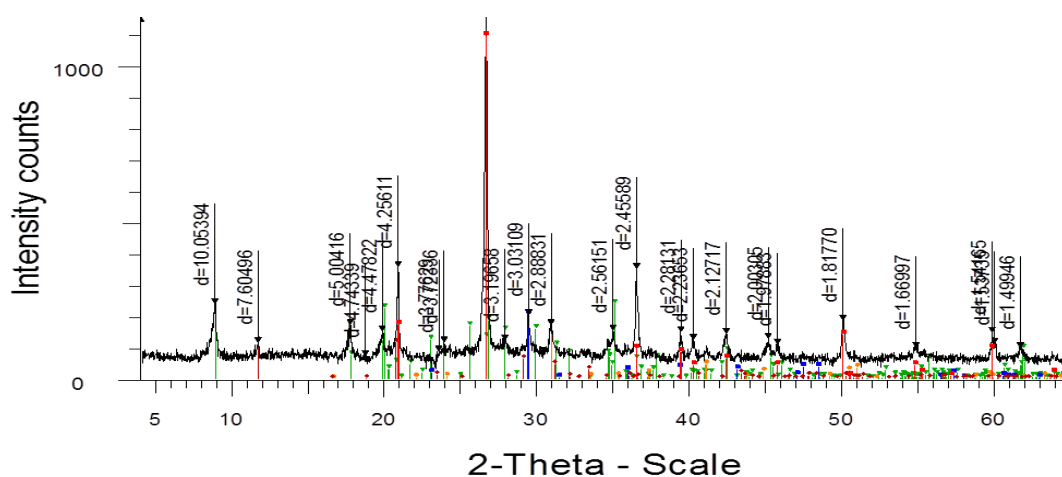


Рисунок 1 Дифрактограмма пробы руды месторождения Сари-Гунай

Таблица 2 Минералогический состав руды месторождения Сари-Гунай

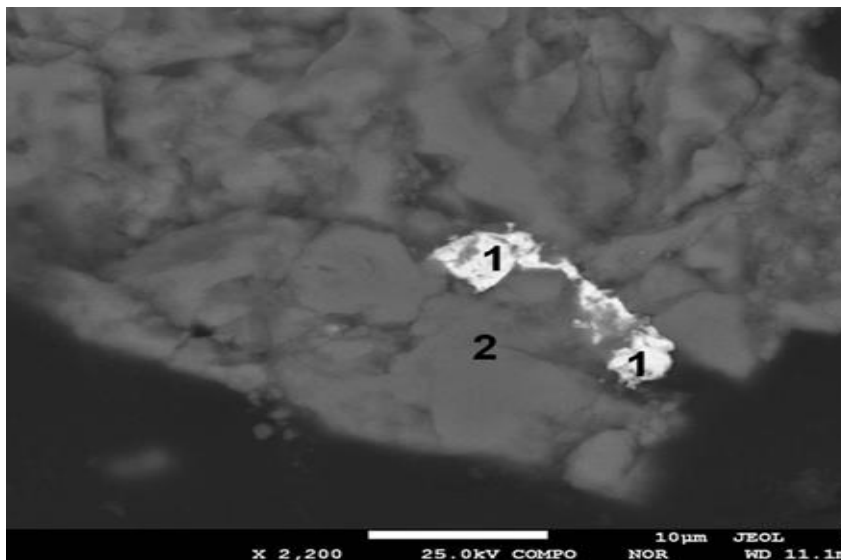
Минералы, группы минералов	Массовая доля, %
Породообразующие	
кварц	23,0
ортоклаз	30,0
плагиоклаз	6,0
гидрослюда	28,0
биотит	2,0
хлорит	1,0
каолинит	1,0
гипс	<1,0
Рудные	
ярозит	2,0
магнетит, гематит	1,0
гидроксиды железа	<2,0
скородит	2,0
киноварь	Единичные знаки
метоциноворит	Единичные знаки
Сульфиды	
пирит	1,0
арсенопирит	Единичные знаки
галенит	Единичные знаки
Итого:	100,0

Из результатов, приведенных в таблице 2, видно, что руда на 91 % сложена породообразующими минералами. По массовой

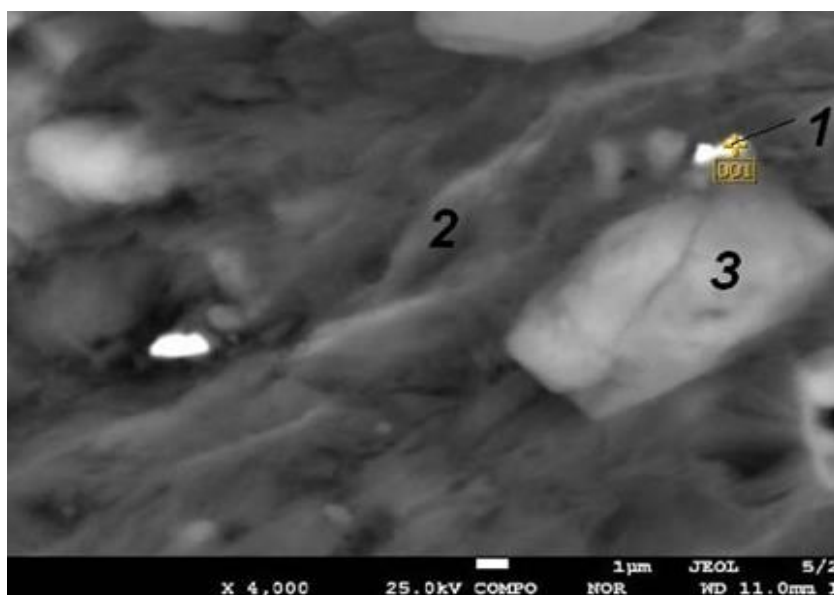
доле среди них преобладает ортоклаз, значительную долю составляет гидрослюда – 28 % и кварц – 23 %. Сопутствующие рудные

минералы – гидроксиды железа, гематит и скородит, составляют в средней пробе порядка 7,0 %. Доля сульфидных минералов находится в пределах 1 % и менее. Практически 99 % из них составляет пирит. Такие минералы как пирит, арсенопирит, галенит фиксируются в тяжелых фракциях в редких и единичных зёрнах.

По данным электронно-зондового анализа выполненного на электронном микроанализаторе марки JEOL JXA-8230 Electron Probe Microanalyzer золото в руде присутствует в виде тонких (микронных) включений в скородите (рисунок 2), гидроксидов железа и кварце (рисунок 3).



**Рисунок 2** Золото (1) в скородите (2), размер золотин 15x5µm. Режим COMPO, увел. 2200



**Рисунок 3** Золото (1) в гидроксидов железа (2) и кварце (3), рядом скородит, размер золотин 1-1,5 µm. Режим EDS, увел. 4000. Размер Гранулометрический состав исследуемой пробы приведен в таблице 3.

**Таблица 3** Гранулометрический состав руды при крупности -12+0 мм

Класс крупности, мм	Выход класса, %	Содержание золота, г/т	Распределение золота, %
-12+5	32,79	3,25	35,61
-5+2,5	30,26	2,98	30,13
-2,5+1	11,74	2,83	11,10
-1+0	25,20	2,75	23,16
Итого	100,00	2,95	100,00

Из таблицы 3 видно, что в исследуемой пробе равномерно распределено золота. Но в основном золота находится в более крупных классах (-12+5 мм и -5+0 мм).

Первой оценкой определения формы нахождения золота в руде являются стандартные бутылочные исследования, которые проводятся на измельченной руде крупностью 90% класса - 0,074 мм. Достигнутые показатели по растворению золота должны рассматриваться как максимально возможные, поскольку измельчение руды полнее раскрывает золото, что обеспечивает максимальный доступ к нему цианидного раствора.

Но для имитации процесса кучного выщелачивания, в котором требуется более крупные классы исходного сырья, для исследования в бутылочных агитаторах была использована дробленая руда крупностью -12+0 мм. Режимы проведения выщелачивания были следующими: масса проб руды для каждого

эксперимента 500 г, отношение Т: Ж=1:2, pH 10-11, концентрация цианида натрия 0,1 %, расход ацетата натрия колеблется от 0,25 кг/т до 3 кг/т, скорость вращения мешалки в агитаторе 30 об/мин. В процессе выщелачивания осуществляли контроль концентрации цианида натрия и pH среды, а при необходимости производили добавку реагентов.

После завершения выщелачивания отфильтрованный раствор анализировали на содержание золота методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе марки Квант-М. Твердую фазу хвостов промывали водой, сушили и анализировали на содержание золота пробирно-гравиметрическим методом.

### Обсуждение результатов

Результаты исследований по выщелачиванию золота измельченной руды крупностью 90% класса -0,074 мм представлены на рисунке 4 и 5.

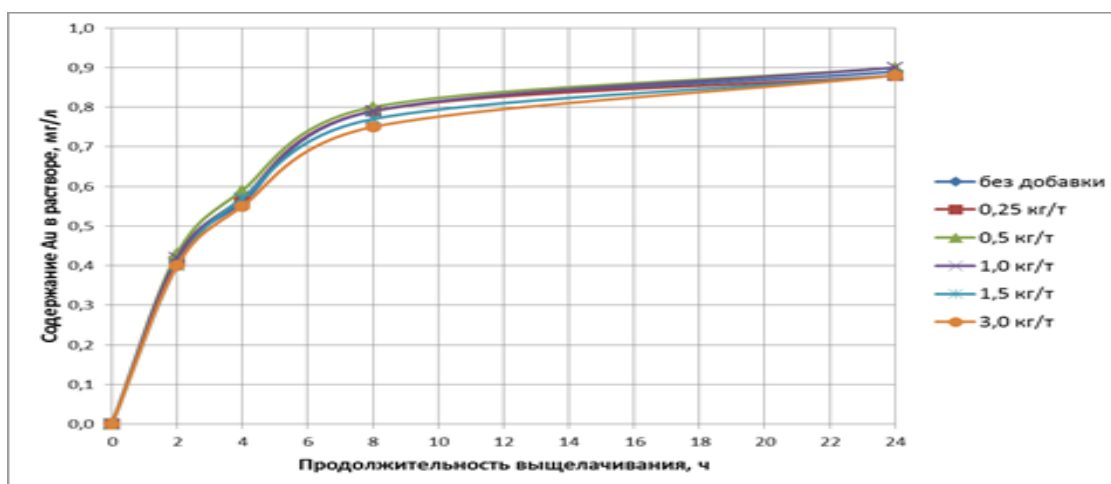


Рисунок 4 Кинетика растворения золота из измельченной руды крупностью 90% класса -0,074 мм

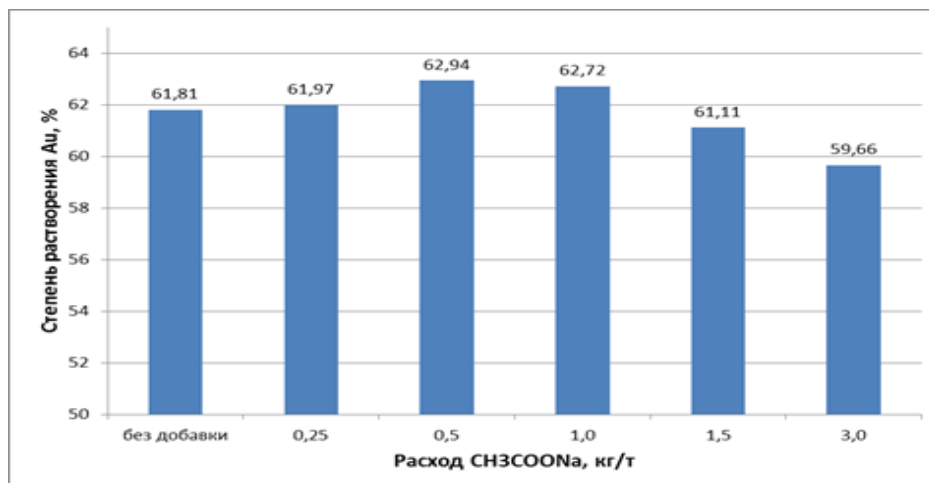


Рисунок 5 Степень извлечения золота из измельченной руды крупностью 90% класса -0,074 мм

Из полученных результатов видно, что при добавлении ацетата натрия степень извлечения золота из измельченной руды увеличивается на 1,13 % по сравнению с извлечением без добавления данного реагента. Это объясняется тем, что при измельчении руды до крупности 90% класса -0,074 мм достигается высвобождения

золота от минералов, которые не взаимодействуют с ацетатом натрия. Увеличения расхода ацетата натрия мало влияет на извлечение золота. Результаты исследований по выщелачиванию золота дробленной руды до крупности -12+0 мм представлены на рисунках 6 и 7.

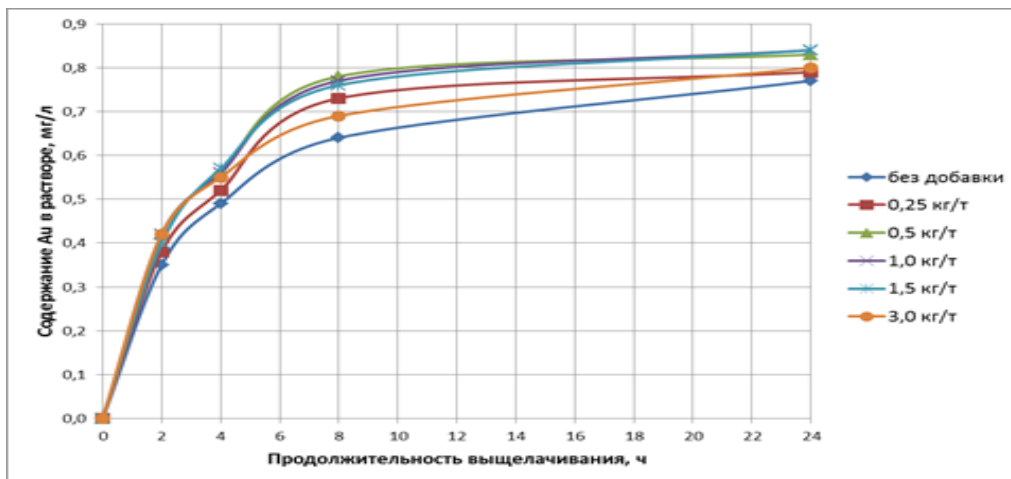


Рисунок 6 Кинетика растворения золота дробленной руды до крупности -12+0 мм

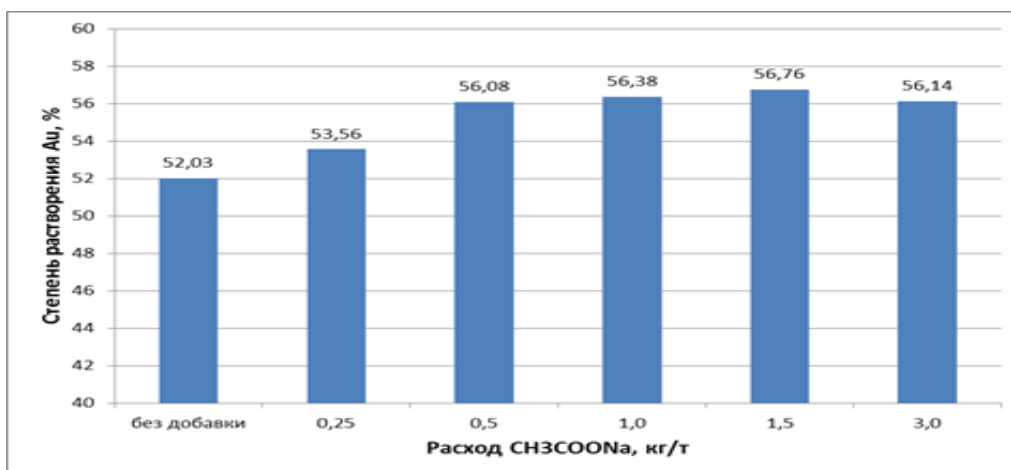


Рисунок 7 Степень извлечения золота дробленной руды до крупности -12+0 мм

Полученные данные позволили установить, что извлечение золота дробленной руды до крупности -12+0 мм с добавкой ацетата увеличивает извлечение золота в среднем на 4 % и улучшает кинетику растворения золота.

Результаты по выщелачиванию золота из дробленной руды до крупности -12+0 мм показали более высокие результаты по сравнению с результатами выщелачивания из измельченной руды крупностью 90% класса -0,074 мм. Это доказывает, что золото в дробленной руде до крупности -12+0 мм присутствует в виде тонких включений в минералах и рудных породах, что подтверждается минералогическим анализом. При этом ацетат натрия растворяет и расширяет

поры минералов и рудных пород, открывая и увеличивая их для доступа цианида к золоту.

Данные исследования показывают, что ацетат натрия можно использовать для интенсификации золота при крупности руды -12+0 мм и более в крупных классах для выщелачивания золота из руды.

### Выводы

Использование ацетата натрия в качестве химической добавки при выщелачивании золота на бутылочном тесте из дробленной руды до крупности -12+0 мм увеличивает извлечение золота на ~4 % и улучшает кинетику растворения золота.

*Ссылка на данную статью:* Есенгараев Е. К., Баимбетов Б. С., Мамяченков С. В., Суримбаев Б. Н., Прозор Н.Г. Изучение процесса цианидного выщелачивания золота с применением ацетата натрия при различной крупности руды // *Комплексное использование минерального сырья.* № 1 (312), 2020 pp. 59-68. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.08>

*Cite this article as:* Yessengarayev Ye. K., Baimbetov B. S., Mamyachenkov S. V., Surimbayev B. N., Prozor N. G. Izucheniye protsesssa tsianidnogo vyshchelachivaniya zolota s primeneniym atsetata natriya pri razlichnoy krupnosti rudy [Study of the process of cyanide leaching of gold using sodium acetate at different ore sizes] // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources.* No. 1 (312), 2020 pp. 59-68. (In Russian). <https://doi.org/10.31643/2020/6445.08>

## Кеннің әр түрлі ірілігінде натрий ацетатын қолданумен алтынды цианидты шаймалау процесін зерттеу

Есенгараев Е. К., Баимбетов Б. С., Мамяченков С. В., Суримбаев Б. Н., Прозор Н.Г.

**Түйіндеме.** Металды шаймалау арқылы өндіруді қарқындету - бұл кеннен металды тез және толық алуға қол жеткізуге бағытталған ұйымдастыру-техникалық іс-шаралар кешенін жүргізу. Шаймалауды қарқындету шаралары шаймалау жылдамдығының төмендеуін тудыратын себептерді толық немесе ішінара бейтараптандыруға бағытталған. Шаймалау процесін қарқындету үшін натрий ацетаты қосылған алтынды цианидты шаймалау бойынша сынақтар жүргізілді. Тотыққан кеннің сынамалы-гравиметриялық, химиялық, минералогиялық және гранулометриялық талдау нәтижелері ұсынылған. Электронды-зондтық талдау мәліметтері бойынша кендегі алтын минералдарда және кен жыныстарында жұқа (микрондық) қоспалар түрінде болады. Ірілігі 90% -0,074 мм сыныпты ұнтақталған кенді және ірілігі 12+0 мм ұнтақталған кенді шаймалау бойынша зерттеу жүргізілді. Ұнтақталған кенді ірілігі 90% -0,074 мм-ді шаймалау натрий ацетатын қосқан кезде алтынды алу дәрежесі осы реагентті қоспай шаймалаумен салыстырғанда 1,13% -ға артатынын көрсетті. Ірілігі -12+0 мм ұнтақталған кенді шаймалау кезінде ацетат қосылған алтынды шығару орташа есеппен 4% -ға артады және алтынның еріту кинетикасын жақсартады. Зерттеу нәтижесінде натрий ацетатын кен ірілігі -12+0 мм кезінде алтынды қарқынды шаймалау үшін аса ірі кен сыныптарында пайдалануға болатынын дәлелдейді. **Түйін сөздер:** шаймалау процесін қарқындету, натрий ацетаты, шаймалау, үймелі шаймалау, алтын, химиялық реагент.

## Study of the process of cyanide leaching of gold using sodium acetate at different ore sizes

Yessengarayev Ye. K., Baimbetov B. S., Mamyachenkov S. V., Surimbayev B. N., Prozor N. G.

**Abstract.** Intensification of metal extraction by leaching is a complex of organizational and technical measures aimed at achieving the fastest and complete extraction of metal from ore. Measures to intensify leaching are aimed at completely or partially neutralizing the causes that cause a decrease in the leaching rate. Tests were performed on cyanide leaching of gold from gold-containing ore with the addition of sodium acetate to intensify the leaching process. The results of assay-gravimetric, chemical, mineralogical and granulometric analysis of oxidized ore are presented. According to electron-probe analysis, gold in the ore is present in the form of thin (micron) inclusions in minerals and ore rocks. A study was conducted on leaching of crushed ore with a size of 90% of the class -0.074 mm and crushed ore with a size of -12+0 mm. Leaching of crushed ore with a size of 90% of the class -0.074 mm showed that when adding sodium acetate, the gold recovery rate increases by 1.13 % compared to leaching without adding this reagent. When leaching crushed ore with a size of -12 + 0 mm with the addition of acetate, gold recovery increases by an average of 4 %, and the kinetics of gold dissolution improves. Research data prove that sodium acetate can be used to intensify gold at a ore size of -12+0 mm and in larger ore classes for leaching gold.

**Key words:** intensification of the leaching process, sodium acetate, leaching, heap leaching, gold, chemical reagent.

## Литература

- [1] Караганова В.В., Ужкенов Б.С. Кучное выщелачивание золота – зарубежный опыт и перспективы развития. Справочник. – Москва-Алматы, 2002. – С. 288.
- [2] Manning T.J., Kappes D.W. Heap Leaching of Gold and Silver Ores // *Gold Ore Processing (Second Edition).* – 2016. – P. 413-428. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00025-6>
- [3] Kappes D.W. Heap leaching of gold and silver ores // Editor(s): Mike D. Adams, B.A. Wills, *Developments in Mineral Processing, Elsevier.* – Vol. 15. – 2005. – P. 456-478. [https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15019-4](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15019-4).

- [4] I.M.S.K. Ilankoon, Yuan Tang, Yousef Ghorbani, Stephen Northey, Mohan Yellishetty, Xiangyi Deng, Diane McBride. The current state and future directions of percolation leaching in the Chinese mining industry: Challenges and opportunities // *Minerals Engineering*. – Vol. 125. – 2018. – P. 206-222. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.06.006>.
- [5] Mark G. Aylmore, Jacobus J. Eksteen, Mike G. Jones, Martin Wells. The mineralogy and processing potential of the Commonwealth project in the Molong Volcanic Belt, central eastern New South Wales, Australia // *Ore Geology Reviews*. – Vol. 111. – 2019. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.102976>.
- [6] Болотова Л.С., Байконурова А.О., Алтынбек Ш.Ч., Акжаркенов М.Д. Исследования процесса кучного выщелачивания золота щелочными растворами цианида натрия из бедных золотосодержащих руд. – Доклады Национальной Академии наук РК. – №3. – 2012. – С. 42-47.
- [7] Sánchez-Chacón A.E., Lapidus G.T. Model for heap leaching of gold ores by cyanidation // *Hydrometallurgy*. – Vol. 44, Iss. 1-2. – 1997. – P. 1-20. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(96\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(96)00052-7).
- [8] Халезов Б.Д. Исследования и разработка технологии кучного выщелачивания медных и медно-цинковых руд. Автореферат // Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов. – Екатеринбург, 2009. – С. 11-20.
- [9] Yousef Ghorbani, Megan Becker, Aubrey Mainza, Jean-Paul Franzidis, Jochen Petersen. Large particle effect in chemical/biochemical heap leach processes – A review // *Minerals Engineering*. – Vol. 24, Iss. 11. – 2011. – P. 1172-1184. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.04.002>.
- [10] Lotta Rintala, Maria Leikola, Christian Sauer, Jari Aromaa, Thomas Roth-Berghofer, Olof Forsén, Mari Lundström. Designing gold extraction processes: Performance study of a case-based reasoning system // *Minerals Engineering*. – Vol. 109. – 2017. – P. 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.02.013>.
- [11] Самусев А.Л., Чантурия Е.Л. Современные способы интенсификации процесса кучного выщелачивания. – Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 6. – 2011. – С. 157-162.
- [12] Фазлуллин М.И. (ред.) Кучное выщелачивание благородных металлов. Монография. — М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – С. 96-103.
- [13] Bayat O., Vapur H., Akyol F., Poole C. Effects of oxidizing agents on dissolution of Gumuskoy silver ore in cyanide solution // *Miner. Eng.* – 2003. – Vol. 16. P. 395-398. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00050-5)
- [14] Sampaio C.H., Petter C.O., Kautzmann R.M., Klein S.L. Technological characterization of Riacho dos Machados gold ore for cyanide leaching and study of the utilization of oxidizing agents // *Minerals Engineering*. – 1997. – Vol. 10, Is. 5. – P. 547-550. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(97\)00032-0](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(97)00032-0)
- [15] Dai X., Jeffrey M.I. The effect of sulfide minerals on the leaching of gold in aerated cyanide solutions // *Hydrometallurgy*. – 2006. – Vol. 82, Is. 3-4. P. 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.03.005>
- [16] Thiago Oliveira Nunan, Isabella Lima Viana, Guilherme C. Peixoto, Herbert Ernesto, Daniel Martin Verster, Jose Henrique Pereira, Jose M. Bonfatti, Luiz Alberto Cesar Teixeira. Improvements in gold ore cyanidation by pre-oxidation with hydrogen peroxide // *Minerals Engineering*. – Vol. 108. – 2017. – P. 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.006>.
- [17] Пат. № 2167211 (RU) Экологический чистый способ извлечения благородных металлов / Гуров В.А., Дорофеев Ю.Н., Кольцов В.Ю., Снигирь А.Н. – опубл. 20.05.2001.
- [18] Пат. № 2275436 (RU) Способ извлечения золота из руд / Самсонов А.С., Курочкина И.А., Поляков М.Л. – опубл. 27.04.2006.
- [19] Chryssoulis S.L., McMullen J. Mineralogical Investigation of Gold Ores, Editor(s): Mike D. Adams // *Gold Ore Processing (Second Edition)*, Elsevier. – 2016. P. 57-93. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00005-0>.
- [20] Евдокимов А.В. Поиск новых реагентов-ускорителей, интенсифицирующих процесс цианирования // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2010. – № 4(44). – С. 139-143.
- [21] Сорокин И.П. Изучение условий растворения золота и серебра в цианистых растворах при низких температурах // *Труды ВНИИ-1*. – Магадан, 1958. – № 33 – С. 13-79.
- [22] Пат. № 2093672 (RU) Состав и способ для выщелачивания золота / Блохин Н.Н., Фетодов Г.П., Хмелевская Г.А., Забельский В.К., Аваргин В.А. – опубл. 20.10.1997.
- [23] Surimbayev V., Bolotova L., Baikonurova A., Mishra B. Intensive cyanidation of gold using an organic reagent-activator // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2019. – Vol. 54. – Iss. 2. – P. 387-390.
- [24] Пат. № 4536 (KZ) Способ переработки золотосодержащего гравитационного концентрата / Суримбаев Б.Н., Болотова Л.С., Шалгымбаев С.Т., Байконурова А.О. – Бюлл. № 50, опубл. 13.12.2019.
- [25] Суримбаев Б.Н. Разработка технологии извлечения золота из сульфидных руд с использованием реагента-активатора при интенсивном цианировании // Диссертация доктора философии (PhD): 6D070900 – Металлургия. – Алматы, 2018. – № 0618PK00527.
- [26] Abubakriev A. T., Koizhanova A. K., Magomedov D. R., Erdenova M. B., Abdyldaev N. N. Gold Recovery from Concentrates Using Oxidizing Agent // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex use of mineral raw materials)*. – 2019. – №.3. (310). – P. 10-15. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.23>
- [27] Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a [Complex Use of Mineral Resources]*. – 2019. – №3 (310). -Page: 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>



- [28] Surimbayev B., Bolotova L., Baikonurova A., Shalgymbayev S. Application of acetic acid as a reagent-activator in intensive cyanidation of gravity concentrates // Kompleksnoe ispol'zovaniemineral'nykh resursov [Complex Use of Mineral Resources]. – 2019. – № 1. – P. 83-88. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.10>
- [29] Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus // News of the National academy of science of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2018. – Vol. 5, N. 431. – P. 32-37.

### References

- [1] Karaganova V.V., Uzhkenov B.S. Kuchnoe vyshchelachivanie zoloto – zarubezhnyy opyt i perspektivy razvitiya. Spravochnik. (Heap leaching gold - foreign experience and development prospects. Reference book) – Moscow-Almaty, **2002**. – P. 288 (In Rus.).
- [2] Manning T.J., Kappes D.W. Heap Leaching of Gold and Silver Ores // Gold Ore Processing (Second Edition). – **2016**. – P. 413-428. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00025-6> (In Eng.).
- [3] Kappes D.W. Heap leaching of gold and silver ores // Editor(s): Mike D. Adams, B.A. Wills, Developments in Mineral Processing, Elsevier. – Vol. 15. – **2005**. – P. 456-478. [https://doi.org/10.1016/S0167-4528\(05\)15019-4](https://doi.org/10.1016/S0167-4528(05)15019-4) (In Eng.).
- [4] I.M.S.K. Ilankoon, Yuan Tang, Yousef Ghorbani, Stephen Northey, Mohan Yellishetty, Xiangyi Deng, Diane McBride. The current state and future directions of percolation leaching in the Chinese mining industry: Challenges and opportunities // Minerals Engineering. – Vol. 125. – **2018**. – P. 206-222. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.06.006> (In Eng.).
- [5] Mark G. Aylmore, Jacobus J. Eksteen, Mike G. Jones, Martin Wells. The mineralogy and processing potential of the Commonwealth project in the Molong Volcanic Belt, central eastern New South Wales, Australia // Ore Geology Reviews. – Vol. 111. – **2019**. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.102976> (In Eng.).
- [6] Bolotova L.S., Baikonurova A.O., Altynbek Sch.Ch., Akzharkenov M.D. Issledovaniya processa kuchnogo vyshchelachivaniya zolota shchelochnymi rastvorami cianida natriya iz bednykh zolotosoderzhashchih rud (Research of process of the grouped lixiviating of gold by alkaline solutions of cyanide of sodium from poor gold ores). – Reports of NAS RK. – №3. – **2012**. – C. 42-47. (In Rus.).
- [7] Sánchez-Chacón A.E., Lapidus G.T. Model for heap leaching of gold ores by cyanidation // Hydrometallurgy. – Vol. 44, Iss. 1-2. – **1997**. – P. 1-20. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(96\)00052-7](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(96)00052-7) (In Eng.).
- [8] Halezov B.D. Issledovaniya i razrabotka tekhnologii kuchnogo vyshchelachivaniya mednykh i medno-cinkovykh rud. Avtoreferat (Research and development of heap leaching technology for copper and copper-zinc ores. Abstract) // Dissertation: 05.16.02 – Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals. - Ekaterinburg, **2009**. – P. 11-20. (In Rus.).
- [9] Yousef Ghorbani, Megan Becker, Aubrey Mainza, Jean-Paul Franzidis, Jochen Petersen. Large particle effect sin chemical/biochemical heap leach processes – A review // Minerals Engineering. – Vol. 24, Iss. 11. – **2011**. – P. 1172-1184. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.04.002> (In Eng.).
- [10] Lotta Rintala, Maria Leikola, Christian Sauer, Jari Aromaa, Thomas Roth-Berghofer, Olof Forsén, Mari Lundström. Designing gold extraction processes: Performance study of a case-based reasoning system // Minerals Engineering. – Vol. 109. – **2017**. – P. 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.02.013> (In Eng.).
- [11] Samusev A.L., Chanturiya E.L. Sovremennye sposoby intensivifikatsii processa kuchnogo vyshchelachivaniya (Modern methods of intensifying the process of heap leaching). - Mountain News and Analysis Bulletin. – № 6. – **2011**. – P. 157-162. (In Rus.).
- [12] Fazlullin M.I. Kuchnoe vyshchelachivanie blagorodnykh metallov. Monografiya. (Heap leaching of precious metals. Monograph) — Moscow: Publishing House of the Academy of Mining Sciences, **2001**. – P. 96-103. (In Rus.).
- [13] Bayat O., Vapur H., Akyol F., Poole C. Effects of oxidizing agents on dissolution of Gumuskoy silver ore in cyanide solution // Miner. Eng. – **2003**. – Vol. 16. – P. 395-398. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00050-5) (In Eng.).
- [14] Sampaio C.H., Petter C.O., Kautzmann R.M., Klein S.L. Technological characterization of Riacho dos Machados gold ore for cyanide leaching and study of the utilization of oxidizing agents // Minerals Engineering. – **1997**. – Vol. 10, Is. 5. – P. 547-550. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(97\)00032-0](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(97)00032-0) (In Eng.).
- [15] Dai X., Jeffrey M.I. The effect of sulfide minerals on the leaching of gold in aerated cyanide solutions // Hydrometallurgy. – **2006**. – Vol. 82, Is. 3-4. P. 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.03.005> (In Eng.).
- [16] Thiago Oliveira Nunan, Isabella Lima Viana, Guilherme C. Peixoto, Herbert Ernesto, Daniel Martin Verster, Jose Henrique Pereira, Jose M. Bonfatti, Luiz Alberto Cesar Teixeira. Improvements in gold ore cyanidation by pre-oxidation with hydrogen peroxide // Minerals Engineering. – Vol. 108. – **2017**. – P. 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.006> (In Eng.).
- [17] Patent № 2167211 (RU) Ecological clean method for the extraction of precious metals / Gurov V.A., Dorofeev Yu.N., Koltsov V.Yu., Snigir A.N. - publ. 20.05.2001. (In Rus.).

- [18] Patent № 2275436 (RU) The method of extraction of gold from ores / Samsonov A.S., Kurochkina I.A., Polyakov M.L. - publ.27.04.2006. (In Rus.).
- [19] Chryssoulis S.L., McMullen J. Mineralogical Investigation of Gold Ores, Editor(s): Mike D. Adams // Gold Ore Processing (Second Edition), Elsevier. – 2016. – P. 57-93. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00005-0> (In Eng.).
- [20] Evdokimov A.V. Poisk novykh reagentov-uskoritelei intensivitsiruiushchikh protsess tsianirovaniia (Search for new reagent-accelerators intensifying the process of cyanidation) // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – 2010. – № 4(44). – P. 139-143. (In Rus.).
- [21] Sorokin I.P. Izuchenie usloviy rastvoreniya zolota i serebra v cianistyh rastvorah pri nizkih temperaturah (Studying the conditions for the dissolution of gold and silver in cyanide solutions at low temperatures) // Transactions of VNIИ-1. - Magadan, 1958. – № 33 – P. 13-79. (In Rus.).
- [22] Patent № 2093672 (RU) The composition and method for leaching gold / Blokhin N.N., Fetodov G.P., Khmelevskaya G.A., Zabelsky V.K., Avargin V.A. - publ.20.10.1997. (In Rus.).
- [23] Surimbayev B., Bolotova L., Baikonurova A., Mishra B. Intensive cyanidation of gold using an organic reagent-activator // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2019. – Vol. 54. – Iss. 2. – P. 387-390. (In Eng.).
- [24] Patent № 4536 (KZ) Method of processing gold-containing gravity concentrate / Surimbayev B.N., Bolotova L.S., Shalgymbayev S.T., Baikonurova A.O. – Bulletin № 50, publ.13.12.2019. (In Rus.).
- [25] Surimbayev B.N. Development of technology for the extraction of gold from sulphide ores using reagent-activator with intensive cyanidation // PhD Dissertation: 6D070900 – Metallurgy. - Almaty, 2018. – № 0618PK00527. (In Rus.).
- [26] Abubakriev A. T., Koizhanova A. K., Magomedov D. R., Erdenova M. B., Abdyldaev N. N. Gold Recovery from Concentrates Using Oxidizing Agent // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a [Complex use of mineral raw materials]. – 2019. – №.3. (310). – P. 10-15. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.23> (in Eng.).
- [27] Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a [Complex Use of Mineral Resources]. – 2019. – №3 (310). -Page: 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30> (in Eng.).
- [28] Surimbayev B., Bolotova L., Baikonurova A., Shalgymbayev S. Application of acetic acid as a reagent-activator in intensive cyanidation of gravity concentrates // Kompleksnoe ispol'zovaniemineral'nogosyr'a [Complex Use of Mineral Resources]. – 2019. – № 1. – P. 83-88. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.10> (In Eng.).
- [29] Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus // News of the National academy of science of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2018. – Vol. 5, N. 431. – P. 32-37. (In Eng.).