

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 3, Number 313 (2017), 55 – 60

B.N. Surimbayev^{1,2}, A.O. Baikonurova¹, L.S. Bolotova²¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, 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

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

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF GRAVITY
CONCENTRATION OF GOLD-CONTAINING SULFIDE ORES**

Abstract. The indices of gravity concentration of primary gold ore in the South locale of Raigorodok deposit are compared characterizing different depth intervals. The results of fire assay, chemical and mineralogical analyses of samples of gravity concentration of gold-bearing ore are given. It is confirmed that the composition of ores varies with the depths of the horizons. The effectiveness of gravity concentration is high.

Key words: gravity concentration, centrifugal concentrator, concentrate, gravity tailings.

УДК 622.75/77

Б.Н. Суримбаев^{1,2}, А.О. Байконурова¹, Л.С. Болотова²¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;²Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАВИТАЦИОННОГО
ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДНЫХ РУД**

Аннотация. Проведено сравнение показателей гравитационного обогащения золота первичной руды Южного участка месторождения Райгородок, характеризующие различные интервалы глубин. Приведены результаты пробирного, химического и минералогического анализов проб гравитационного обогащения золотосодержащей руды. Установлено, что состав руд в зависимости от глубин горизонтов изменяется. Эффективность гравитационного обогащения высокая.

Ключевые слова: гравитационное обогащение, центробежный концентратор, концентрат, хвосты гравитации.

В практике производства золота для извлечения крупных зерен свободного металла применяют гравитационное обогащение, являющееся наиболее старым методом переработки минерального сырья [1]. В течение длительного периода времени этот метод претерпел изменения – от простой промывки и разделения зерен на наклонной плоскости до использования центробежных концентраторов. Метод разделения минеральных зерен по плотности в гравитационных устройствах отличается простотой осуществления и позволяет обогащать россыпное золото в условиях отдаленных районов без сложившейся инфраструктуры. Кроме того, этот метод не требует использования химических реагентов и отличается малой энергоемкостью [2, 3].

Гравитационное обогащение используют для выведения из руды не только крупных зерен свободного золота, но и золотосодержащих сульфидов и теллуридов, а также золота «в рубашке», которые другими процессами, как правило, извлекаются неудовлетворительно. Поэтому предварительное выделение золота гравитационным обогащением в начале технологического

процесса позволяет снизить его потери с отвальными хвостами, при этом удается выделить часть золота в виде богатого золотосодержащего концентрата [4, 5].

Ранее нами были исследованы показатели гравитационного обогащения золота первичной руды Южного участка месторождения Райгородок – ТЮ-2014-2, характеризующей различные интервалы глубин [6, 7]. Изучаемые пробы ТЮ-2016-1, ТЮ-2016-2 и ТЮ-2016-3 представляют более глубокие горизонты.

В таблице 1 приведены результаты пробирных анализов золотосодержащих руд.

Таблица 1 – Результаты пробирно-гравиметрического анализа исходных золотосодержащих руд

Номер параллельных анализов	Содержание в пробах, г/т							
	ТЮ-2014-2		ТЮ-2016-1		ТЮ-2016-2		ТЮ-2016-3	
	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
1	4,02	1,50	2,30	2,12	2,00	1,80	2,28	2,14
2	3,10	–	2,30	–	1,78	–	1,90	–
3	2,22	2,14	2,30	2,01	2,14	1,60	2,30	2,08
4	1,60	–	2,32	–	1,72	–	1,88	–
Среднее содержание компонентов в пробах руд	2,735	1,82	2,31	2,07	1,910	1,70	2,09	2,11

Из данных таблицы 1 видно, что наблюдается достаточно большое расхождение в содержаниях золота в параллельных результатах анализа рудного материала. Содержание серебра в пробах не значительное.

Химический состав золотосодержащих руд по сопутствующим компонентам приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты химического анализа проб руды месторождения Райгородок

Компоненты	Содержание в пробах, %			
	ТЮ-2014-2	ТЮ-2016-1	ТЮ-2016-2	ТЮ-2016-3
Cu	0,02	0,028	0,025	0,032
Ni	0,04	0,004	0,003	0,003
Co	0,07	0,004	0,002	0,003
Zn	0,01	0,009	0,009	0,009
Pb	0,0004	0,005	0,004	0,005
Fe	4,60	6,05	4,68	4,23
CaO	8,12	7,14	7,98	8,33
MgO	4,2	4,0	3,2	2,9
Na ₂ O	1,708	1,94	2,44	1,94
K ₂ O	2,07	2,34	2,34	2,80
SiO ₂	50,90	49,22	53,70	53,31
Al ₂ O ₃	14,05	14,53	12,46	12,82
As	0,01	0,020	0,013	0,011
Sb	0,056	0,03	0,02	0,02
S _{общ.}	1,32	2,22	2,43	2,04
S _{сульфат.}	0,05	0,02	0,03	0,04
S _{сульфид.}	1,27	2,20	2,40	2,00

Примечание: Все изученные пробы по количеству сульфидной серы относятся к малосульфидным рудам, по степени окисления серы - к первичному типу руды.

По компонентному составу все изученные пробы достаточно близки, однако новые пробы более глубоких горизонтов имеют несколько большее содержание сульфидной серы по сравнению с пробой ТЮ-2014-2. Промышленно ценным компонентом является только золото. Остальные металлы промышленной ценности не представляют, их содержания составляют сотые доли процента, содержание мышьяка не превышает 0,02 %.

Минералогический анализ руды показал наличие пирита, магнетита с гематитом. Из нерудных составляющих преобладают кварц, альбит, кальцит и амфибол. Золото в рудах находится в виде свободных крупных зерен, которые неравномерно распределены по массе руды. Все изученные пробы Южного участка по количеству сульфидной серы относятся к малосульфидным рудам, по степени окисления серы – к первичному типу.

Поскольку гравитационное обогащение происходит за счет разделения минеральных частиц различной плотности и основано на особенностях их движения в текучих средах под действием силы тяжести и сил сопротивления, была определена удельная масса золотосодержащих проб (таблица 3)..

Таблица 3 – Удельная масса проб

Номер параллельных анализов	Удельная масса проб, г/см ³			
	ТЮ-2014-2	ТЮ-2016-1	ТЮ-2016-2	ТЮ-2016-3
1	2,81	2,81	2,72	2,82
2	2,79	2,75	2,73	2,82
3	2,82	2,79	2,77	2,86
Среднее значение удельной массы	2,81	2,78	2,74	2,83

В среднем удельная масса всех изученных проб Южного Райгородка составила 2,79 г/см³, при колебаниях от 2,74 до 2,83 г/см³.

Исследования гравитационной обогатимости проб были выполнены на центробежном гравитационном аппарате. Параметры гравитационного обогащения на лабораторном 3-х дюймовом концентраторе Нельсона (КС-МД 3) поддерживали следующие: крупность измельченной руды 80 % класса -0,071 мм; содержание твердого в пульпе, подаваемой на гравитационное обогащение 33,3 % (Т : Ж = 1 : 2); расход и избыточное давление флюидизационной воды 3,5 дм³/мин и 10-14 кПа соответственно; производительность концентратора по твердому 0,5-0,6 кг/мин.; центробежное ускорение 60 G. Для определения гравитационной обогатимости использовали пробы массой 3 кг.

В процессе гравитационного обогащения на центробежном концентраторе Нельсона полученные концентрат и хвосты гравитации подвергали анализу на содержание золота методом пробирного анализа. От каждого концентрата на пробирный анализ отбирали не менее 3-х проб, от хвостов гравитации – 2 пробы, по результатам которых рассчитывали среднее значение показаний. Результаты анализов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты анализов на содержание золота в продуктах обогащения богатых проб

Номер параллельных анализов	Содержание золота, г/т			
	ТЮ-2014-1	ТЮ-2016-1	ТЮ-2016-2	ТЮ-2016-3
Концентрат				
1	60,70	25,20	25,70	40,70
2	75,10	27,10	26,30	40,60
3	62,30	29,50	27,00	38,80
Среднее содержание золота	66,03	27,30	26,30	40,00
Хвосты				
1	1,16	1,10	0,96	1,14
2	1,14	1,06	0,96	1,14
Среднее содержание золота	1,15	1,08	0,96	1,14

Из данных таблицы 4 следует, что в результатах параллельных определений содержания золота в гравитационных концентратах имеется расхождение, что подтверждает данные минералогического анализа о наличии относительно крупного золота и его неравномерного распределения в руде. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами ранее

исследованных продуктов гравитационного обогащения. Разница в параллельных определениях по содержанию золота в хвостах гравитации имеет незначительные отклонения, что указывает на эффективность гравитационного обогащения золотосодержащих руд изучаемого месторождения.

Результаты показателей гравитационного обогащения руд приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты гравитационного обогащения золотосодержащих руд

Продукт	Выход		Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
	г	%		
ТЮ-2014-2				
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
ТЮ-2016-1				
Концентрат	121,3	4,08	27,3	51,81
Хвосты	2848,6	95,92	1,08	48,19
Руда	2969,9	100,00	2,15	100,00
ТЮ-2016-2				
Концентрат	136,9	4,62	26,3	57,06
Хвосты	2826,0	95,38	0,96	42,94
Руда	2962,9	100,00	2,13	100,00
ТЮ-2016-3				
Концентрат	116,1	3,92	40,0	58,92
Хвосты	2842,3	96,08	1,14	41,08
Руда	2958,4	100,00	2,67	100,00

Полученные результаты испытаний гравитационного обогащения золотосодержащих руд подтверждают ранее полученные показатели процесса. Наиболее высокие показатели по гравитационному обогащению пробы ТЮ-2014-2 можно объяснить более высоким содержанием золота в поверхностных слоях исходной руды и наличием значительного количества достаточно крупных зерен самородного золота (рисунок 1).

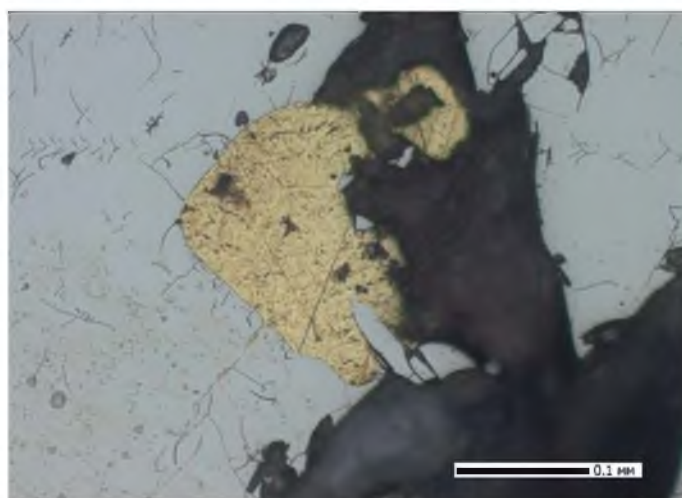


Рисунок 1 – Микроснимок пробы руды ТЮ-2014-2. Золото концентрировано в трещиноватом пирите в порфировой породе среднего состава. Увел. 200

В гравииоконцентрат извлекается в первую очередь свободное золото, обнаруженное в тяжелой фракции гравииоконцентрата, которое имеет размер до 0,07 мм и удельную массу 19,32 г/см³, затем – те сульфидные минералы, с которыми может быть ассоциировано золото (пирит – 4,9-5,2 г/см³, галенит – 7,2-7,6 г/см³, кварц – 2,6 г/см³). Наблюдаются включения золота в сростке с галенитом (рисунок 2).

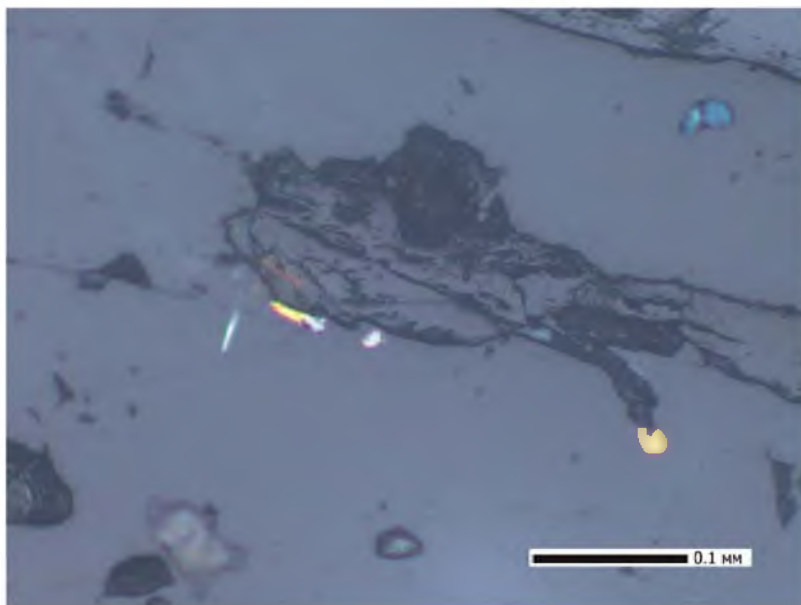


Рисунок 2 – Микроснимок пробы ТЮ-2016-3. Свободное золото овальной и удлиненной формы в сростке с галенитом. Аншлиф, отраженный свет. Увел.200

Таким образом, полученные показатели гравитационного обогащения золотосодержащих руд Южного участка месторождения Райгородок подтвердили ранее полученные данные и эффективность принятого процесса гравитации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Меретуков М.А. Золото: зарождение горного дела, металлургии и технологии. – М.: Руда и Металлы, 2008. – С. 180. ISBN: 978-5-98191-042-5
- [2] Верхотуров М.В. Гравитационные методы обогащения. – Москва, 2006. – С.7-18. ISBN: 5-317-01710-6
- [3] Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды, – М.: Руда и Металлы, 2013. – С. 290-295. ISBN: 978-5-98191-068-5
- [4] Chryssoulis, S.L. and McMullen, J. (2005) Mineralogical Investigation of Gold Ores. In: Adams, M.D., Ed., *Advances in Gold Ore Processing*. Elsevier. The Netherlands. P. 21-67. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15002-9
- [5] Marsden J., House I. *The Chemistry of Gold Extraction*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. USA. 2006. P. 48-50. ISBN-13: 978-0-87335-240-6 / ISBN-10: 0-87335-240-8
- [6] Сурымбаев Б.Н., Болотова Л.С., Байконурова А.О. (2016) 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, Казахстан – С. 358-362. ISBN: 978-601-7146-24-5
- [7] Сурымбаев Б.Н., Байконурова А.О., Болотова Л.С., Мишра Б. Изучение процесса цианидного выщелачивания золота из руды и хвостов гравитационного обогащения сульфидных и окисленных руд // *Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан*, 4 (362) 2016, стр. 260-266. ISSN: 1991-3494

REFERENCES

- [1] Meretukov M.A. *Zoloto: zarozhdenie gornogo dela, metallurgii i tehnologii*. Moscow. Ruda i Metally. 2008. P. 180. ISBN: 978-5-98191-042-5 (In Russian)
- [2] Verhoturov M.V. *Gravitacionnye metody obogashhenija*. Moscow. 2006. P.7-18. ISBN: 5-317-01710-6 (In Russian)
- [3] Zaharov B.A., Meretukov M.A. *Zoloto: upornye rudy*. Moscow. Ruda i Metally. 2013. P. 290-295. ISBN: 978-5-98191-068-5 (In Russian)

[4] Chryssoulis, S.L. and McMullen, J. Mineralogical Investigation of Gold Ores. In: Adams, M.D., Ed., Advances in Gold Ore Processing. Elsevier. The Netherlands. 2005. P. 21-67. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15002-9 (in Eng.)

[5] Marsden J., House I. The Chemistry of Gold Extraction. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. USA. 2006. P. 48-50. ISBN-13: 978-0-87335-240-6 / ISBN-10: 0-87335-240-8 (in Eng.)

[6] Surimbayev B.N., Bolotova L.S., Baikonurova A.O. (2016) Povedenie zolota pri gravitacionnom obogashhenii okislennyh i pervichnyh rud odnogo iz mestorozhdenija Kazahstana. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Abishevskie chtenija-2016 «Innovacii v kompleksnoj pererabotke mineral'nogo syr'ja». Almaty. Kazakhstan. P. 358-362. ISBN: 978-601-7146-24-5 (In Russian)

[7] Surimbayev B.N., Bolotova L.S., Baikonurova A.O., Mishra B. Study of process cyanide leach gold from ore and gravity concentration tailings sulfide and oxide ores [Izuchenie processa cianidnogo vyshhelachivaniya zolota iz rudy i hvostov gravitacionnogo obogashhenija sulfidnyh i okislennyh rud]. Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Vol. 4. Number 362 (2016). P. 260-266. ISSN: 1991-3494 (In Russian)

ӘОЖ: 622.75/77

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

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

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

АЛТЫН ҚҰРАМДЫ СУЛЬФИДТІ КЕНДЕРДІ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ БАЙЫТУ ҮРДІСІН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Әртүрлі аралықтағы тереңдікті сипаттайтын Райгородок кенді орнының Оңтүстік бөлігінің бастапқы кенінің салыстырмалы алтынды гравитациялық байыту зерттеулері жүргізілді. Байытылған алтын құрамды кеннің сынамалық, химиялық және минералогиялық талдау нәтижелері көрсетілген. Кеннің құрамы горизонт тереңдігіне байланысты өзгеретіні табылды. Гравитациялық байытудың тиімділігі жоғары.

Түйін сөздер: гравитациялық байыту, ортадан тепкіш концентратор, концентрат, гравитациялық қалдықтар.

Сведения об авторах:

Суримбаев Бауыржан Нуржанович – PhD докторант по специальности «Металлургия», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

Научный сотрудник лаборатории благородных металлов, Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр», 050036, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Джандосова, 67/Б, +7-7021531733, surimbaev@gmail.com

Байқоңырова Алия Омирхановна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Металлургические процессы, теплотехника и технологии специальных материалов», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», 050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

+7-7077774262, a.baikonurova@yandex.kz

Болотова Людмила Сергеевна - к.х.н., заведующая лабораторией благородных металлов Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр», 050036, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Джандосова, 67/Б, 8(727)3092527, L_bolotova@yahoo.com