

DOI: 10.17516/1999-494X-0297

УДК 669.21

Research on Hydrometallurgical Processing of Gold-Concentrate of Jamgyr Deposit

Lyutsiya M. Karimova*,
Dmitry V. Zakharyan and Yaroslav E. Agapitov
LLP “KazHydroMed”
Karaganda, Republic of Kazakhstan

Received 15.12.2020, received in revised form 12.02.2021, accepted 21.03.2021

Abstract. Laboratory studies have been carried out on the processing of gold-bearing concentrate from the “Jamgyr” deposit using the JIN CHAN reagent. The influence of the concentration JIN CHAN, the duration of leaching, the temperature of the solution were studied. As a result of research, the extraction of gold and silver into solution using cyanide-free technology was 97,5% and 96%, respectively. The processing of the obtained solutions by the method of sorption was carried out on the MA940BG (gold) ion-exchange resin with the extraction of target components from the solution into the ion-exchange resin: Au – 100,0%, Ag – 77,5%.

Keywords: gold, concentrate, leaching, ecological reagent, sorption.

Citation: Karimova L.M., Zakharyan D.V., Agapitov Ya.E. Research on hydrometallurgical processing of gold-concentrate of jamgyr deposit, J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2021, 14(2), 166-174. DOI: 10.17516/1999-494X-0297

Исследования по гидрометаллургической переработке золотосодержащего концентрата месторождения «Джамгыр»

Л.М. Каримова, Д.В. Захарьян, Я.Е. Агапитов
ТОО «КазГидроМедь»
Республика Казахстан, Караганда

Аннотация. Проведены лабораторные исследования по переработке золотосодержащего концентрата месторождения «Джамгыр» с помощью реагента JIN CHAN (Цинь Чань). Изучено влияние концентрации JIN CHAN, продолжительность выщелачивания, температура раствора. В результате исследований извлечение золота и серебра в раствор по бесцианидной технологии

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: lutsia.08@mail.ru

составило 97,5 и 96 % соответственно. Переработку полученных растворов методом сорбции проводили на ионообменной смоле МА940BG (gold), извлечение целевых компонентов из раствора в ионообменную смолу составило: Au – 100,0 %, Ag – 77,5 %.

Ключевые слова: золото, концентрат, выщелачивание, экологический реагент, сорбция.

Цитирование: Каримова, Л.М. Исследования по гидрометаллургической переработке золотосодержащего концентрата месторождения «Джамгыр» / Л.М. Каримова, Д.В. Захарьян, Я.Е. Агапитов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2021, 14(2). С. 166-174. DOI: 10.17516/1999-494X-0297

Введение

Основным реагентом в гидрометаллургии получения золота и серебра из руд является цианид натрия, который применяется уже более 100 лет. Цианистый процесс обеспечивает извлечение порядка 80–90 % золота и серебра. Этот способ обладает существенными технологическими и экономическими преимуществами по сравнению с прочими металлургическими технологиями [1, 2].

Однако цианид относится к категории сильнодействующих ядовитых веществ, и его применение сопровождается большим объемом комплексных мероприятий: обеспечение безопасности обслуживающего персонала, обезвреживание цианидов в хвостах, экологические требования при складировании отходов цианирования. Это все дополнительные затраты, ухудшающие экономику процесса [3–8].

В связи с этим ведутся интенсивные работы по изучению возможностей замены цианидов другими альтернативными растворителями. В настоящее время известны альтернативные выщелачивающие системы, способные переводить золото и серебро в растворимое состояние. Наиболее известны из них тиомочевина, тиосульфаты натрия и аммония, галоиды (хлор, бром, йод) [5–9]. Тем не менее ни один из технологических вариантов с использованием нецианистых растворителей золота и серебра пока не может претендовать на роль универсального гидрометаллургического процесса, каковым в настоящее время является цианирование [3, 10].

Опубликована информация, что в Китае запатентован новый экологически чистый реагент для выщелачивания золота и серебра без цианида. Реагент представляет собой химическую смесь, состоящую из натриевой соли, полимеризованного цианамида натрия, щелочного тиокарбамида и стабилизатора. Он изготовлен из обычных химических материалов, таких как мочевины, каустическая сода, карбонат натрия и сульфид натрия, смешанных с подходящим катализатором [10, 11].

Многочисленными исследованиями установлено, что растворение золота в цианистых растворах в присутствии кислорода протекает по следующей реакции:



золотоцианистый натрий диссоциирует на ионы:



Таким образом, золото в растворе находится в составе комплексного цианистого иона $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$. Согласно современным представлениям процесс растворения золота в цианистых растворах электрохимический и подчиняется общим закономерностям электрохимической коррозии металлов [12, 13].

Важным предметом и направлением исследований в горнодобывающей и металлургической сфере является поиск нового выщелачивающего средства для золота вместо высокотоксичного цианида [2, 10, 11].

В целях разработки промышленной безопасной технологии выщелачивания золота и серебра с помощью экологически чистого выщелачивающего препарата вместо традиционного цианирования были изучены факторы, влияющие на процесс выщелачивания с помощью реагента JIN CHAN («Цзинь Чань»).

Реагент марки JIN CHAN – экологически чистый заменитель цианида, предназначен для ускорения процесса выщелачивания золота и серебра из руд и концентратов с большим содержанием серы, мышьяковистых, сернистых и окисленных руд и связывания металла в пульпе.

Экспериментальная часть

Для проведения исследований по выщелачиванию использовали концентрат из месторождения «Джамгыр» (Казахстан), его химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1. Содержание основных компонентов в черновом концентрате

Table 1. Content of main components in rough concentrate

Компоненты	Содержание, %	Компоненты	Содержание, %
Au, г/т	62,2	Pb	0,25
Ag, г/т	51,41	As, г/т	93,86
Cu	0,11	Al	8,07
Fe	1,58	Si	26,4
Zn	0,039	S	1,43

Исследования проводили в термостатированном реакторе марки «Minni-50-1» с перемешиванием (170 об/мин), изучали влияние концентрации реагента JIN CHAN в интервале от 3,3 до 46,66 г/дм³, продолжительности выщелачивания 1–5 ч и температуры раствора 30–50 °С при отношении Ж:Т-3:1, в раствор вводили Са О.

Результаты и их обсуждение

Условия и полученные результаты по влиянию концентрации реагента JIN CHAN, продолжительности и температуры выщелачивания на извлечение золота, серебра и меди в раствор представлены в табл. 2.

Как демонстрируют данные рис. 1, концентрация реагента оказывает определенное влияние на извлечение компонентов в раствор.

При малой концентрации 3,3 г/дм³ извлечение золота и серебра составило 93,5, 93,14 % соответственно. Вероятно, нехватка выщелачивающего агента приводит к образованию поверхностных пленок, затрудняющих доступ к непрореагировавшим частицам.

Таблица 2. Зависимость влияния концентрации реагента JIN CHAN, продолжительности и температуры выщелачивания на извлечение золота, серебра и меди в раствор

Table 2. Dependence of the influence of the concentration of the reagent JIN CHAN, the duration and temperature of leaching on the extraction of gold, silver and copper into solution

Изуучаемый фактор Условия проведения эксперимента	Выход кека, %	$\beta_{Au},$ г/г в кеке	$\beta_{Ag},$ г/г в кеке	$\beta_{Cu},$ % в кеке	$\beta_{Fe},$ % в кеке	$\beta_{Zn},$ % в кеке	$\beta_{Pb},$ % в кеке	$\beta_{Al},$ % в кеке	$\beta_{As},$ г/г в кеке	$\varepsilon_{Au},$ %	$\varepsilon_{Ag},$ %	$\varepsilon_{Cu},$ %
$C_{JIN\ CHAN},$ г/дм ³ ($\tau - 5$ ч, $t - 40$ °С, Ж:Г=3,5:1)	3,3	4,08	3,56	1,52	1,52	0,037	0,26	8,39	64,79	93,51	93,14	0
	6,7	3,04	2,59	1,54	1,54	0,038	0,26	8,19	77,23	95,18	95,032	0
	10	2,6	2,12	0,080	1,76	0,039	0,29	8,35	78,05	95,94	96,00	29,31
	13,3	2,32	1,97	0,082	1,84	0,042	0,304	9,07	84,21	96,322	96,22	26,5
	20	2,44	2,45	0,079	1,815	0,041	0,295	8,84	75,58	96,17	95,35	29,91
	33,33	3,01	2,48	0,076	1,838	0,039	0,290	8,95	76,61	95,27	95,28	32,43
	40	2,04	1,40	0,076	1,823	0,039	0,291	8,82	73,03	96,83	97,34	33,26
	46,66	2,65	0,66	0,083	1,990	0,042	0,285	9,12	76,56	96,012	98,80	29,37
	5	2,44	2,45	0,079	1,815	0,041	0,295	8,84	75,58	96,17	95,35	29,91
	4	2,07	1,38	0,076	1,728	0,038	0,264	9,01	77,58	96,74	97,37	32,43
$t,$ часы ($C_{JIN\ CHAN},$ 20 г/дм ³ , $t - 40$ °С, Ж:Г=3,5:1)	3	1,92	1,53	0,085	1,770	0,043	0,272	8,99	80,42	97,05	97,16	26,28
	2	2,72	1,81	0,080	1,721	0,039	0,273	8,87	80,45	95,66	96,50	27,85
	1	4,15	1,61	0,081	1,726	0,039	0,274	9,02	86,37	93,42	96,91	27,39
	30	1,94	1,63	0,08	1,744	0,040	0,272	8,79	73,81	97,062	97,013	31,49
	40	2,44	2,45	0,079	1,815	0,041	0,295	8,84	75,58	96,17	96,35	29,91
$t,$ °С ($C_{JIN\ CHAN},$ 20 г/дм ³ , $\tau - 5$ ч, Ж:Г=3,5:1)	50	2,19	1,22	0,082	1,793	0,042	0,264	8,88	72,76	96,85	97,88	33,36

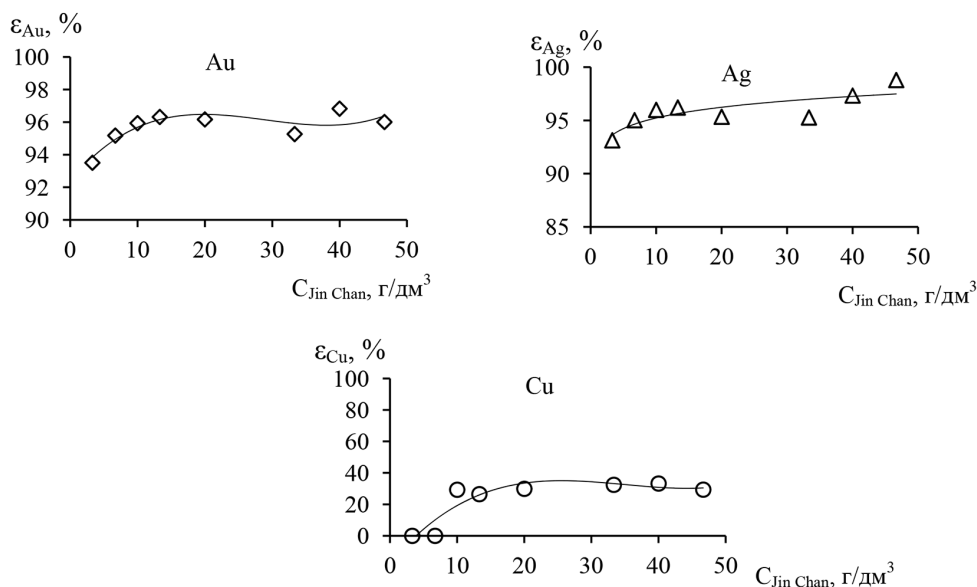


Рис. 1. Влияние концентрации реагента JIN CHAN на извлечение золота, серебра и меди в раствор

Fig. 1. Effect of the concentration of the JIN CHAN reagent for the extraction of gold, silver and copper into solution

Концентрация реагента более 5 г/дм³ приводит к повышению показателей извлечения. Дальнейшее повышение концентрации реагента не оказывает влияние на извлечение золота и серебра. В результате экспериментов определена оптимальная концентрация реагента JIN CHAN – 10–12 г/дм³, при этом извлечение компонентов в раствор составило: Au – 96,0 %; Ag – 96,0 %; Cu – 29,31 %.

Изучено влияние температуры раствора в интервале 30–50 °С на извлечение ценных компонентов в следующих условиях:

- концентрация реагента JIN CHAN – 20 г/дм³;
- отношение Ж:Т=3:1;
- продолжительность выщелачивания – 5 ч.

Графики частных зависимостей влияния температуры раствора (t, °С) на извлечение золота (а), серебра (б) и меди (в) в раствор представлены на рис. 2 и в табл. 2.

Из литературных источников известно [5], что при цианировании повышение температуры имеет двоякое воздействие: с одной стороны, интенсивность растворения золота несколько возрастает за счет повышения скорости химического взаимодействия и в некоторой степени увеличения скорости диффузии реагентов, с другой – также увеличивается скорость протекания побочных реакций, что ведет к загрязнению раствора и перерасходу реагента. В свою очередь, снижается растворение кислорода в растворе, что вызывает разложение цианидов. По-видимому, эти особенности проявляются и в данном случае.

С ростом температуры от 30 до 50 °С извлечение золота, серебра в раствор увеличивается, что обусловлено увеличением скорости диффузии. При этом извлечение ценных компонентов в исследуемом интервале повышается: Au – 97,0 %; Ag – 97,0 %; Cu – 31,4 %.

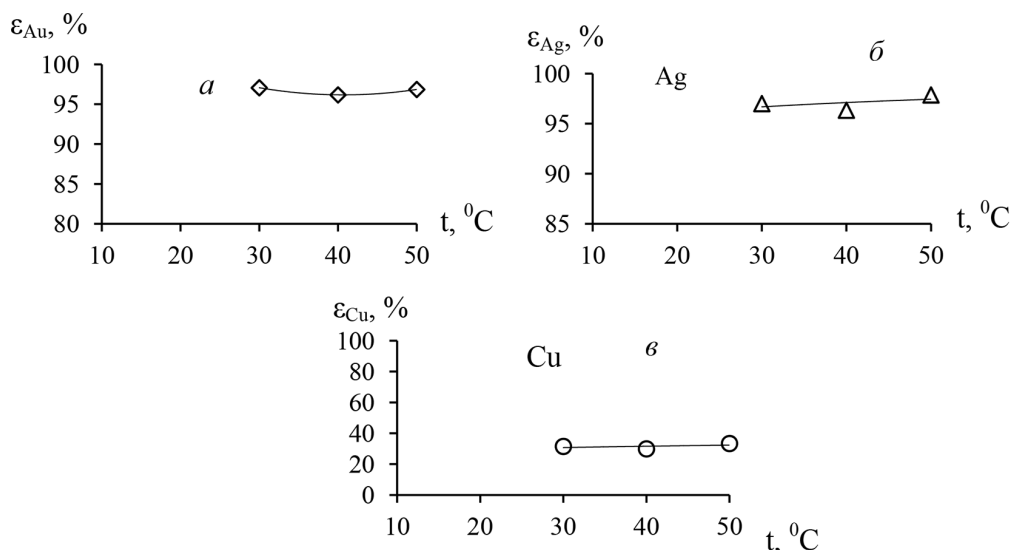


Рис. 2. Зависимости влияния температуры раствора на извлечение золота (а), серебра (б) и меди (в) в раствор

Fig. 2. Dependences of the influence of the temperature of the solution for the extraction of gold (a), silver (б) and copper (в) into solution

Влияние продолжительности выщелачивания изучено в интервале от 1 до 5 ч на извлечение золота, серебра и меди в раствор при следующих условиях:

- отношение Ж:Т=3:1;
- температура (t) 40 °С;
- концентрация реагента JIN CHAN 20 г/дм³.

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Результаты экспериментов (табл. 2) показывают, что с увеличением продолжительности выщелачивания с 1 до 3 ч извлечение ценных компонентов возрастает и далее практически не меняется. Таким образом, наибольшая скорость и полнота растворения золота и серебра достигается при продолжительности 3 ч; большая скорость растворения серебра в начальный момент (первые 2–3 ч) объясняется взаимодействием реагента JIN CHAN с минералом, в котором содержится почти 50 % всего серебра, находящегося в концентрате.

Аналогично проведены исследования по выщелачиванию золота и серебра из концентрата «Джамгыр» с использованием цианида натрия. Исследования проводили при следующих условиях:

- отношение Ж:Т=3:1;
- температура (t) 40 °С;
- продолжительность 4 ч.

Концентрацию цианида натрия задавали в интервале 3,3 и 6,7 г/дм³.

Условия и полученные результаты представлены в табл. 3.

Согласно полученным данным, выщелачивание с использованием реагента JIN CHAN обеспечивает сопоставимые с процессом цианирования значения извлечения золота и серебра

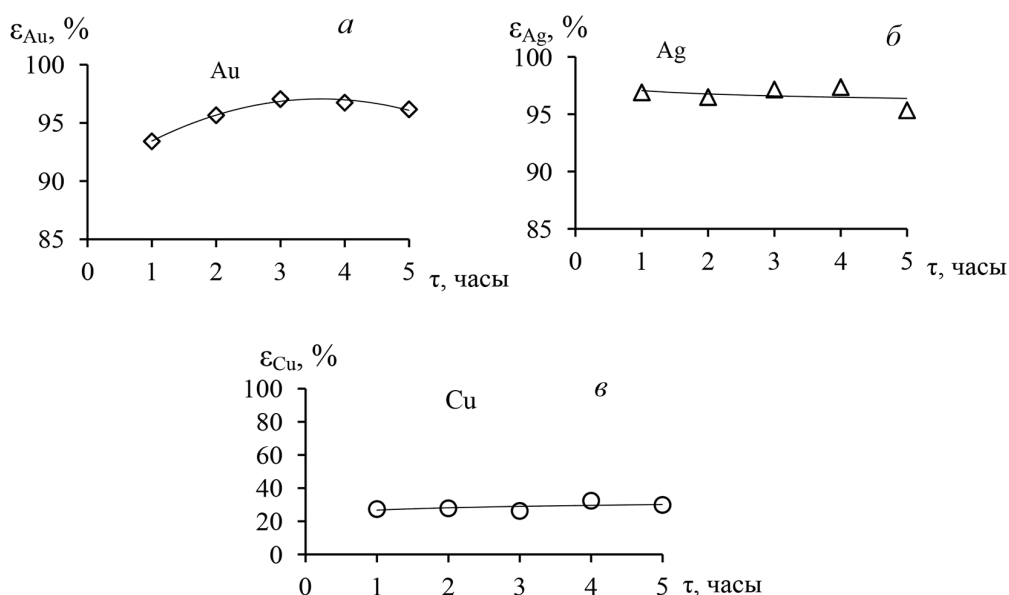


Рис. 3. Зависимости по влиянию продолжительности выщелачивания на извлечение золота (а), серебра (б) и меди (в) в раствор

Fig. 3. Dependences on the effect of leaching duration on the extraction of gold (a), silver (б) and copper (в) into solution

Таблица 3. Зависимость извлечения золота, серебра и меди в раствор от концентрации цианистого натрия

Table 3. Dependence of the extraction of gold, silver and copper into solution on the concentration of sodium cyanide

C _{NaCN}	Выход кека, %	Содержание в кеке							ε _{Au} , %	ε _{Ag} , %	ε _{Cu} , %
		β _{Au} , г/т	β _{Ag} , г/т	β _{Cu} , %	β _{Fe} , %	β _{Zn} , %	β _{Pb} , %	β _{Al} , %			
3,3	99,0	3,92	2,7	0,079	1,67	0,036	0,253	8,85	93,76	94,8	28,9
6,7	99,0	4,3	1,8	0,075	1,53	0,047	0,240	8,53	93,15	96,53	32,5

в раствор. По золоту, с учетом максимальной положительной погрешности, извлечение составляет не менее 97,5 %. Указанное позволяет рекомендовать данный реагент для использования в процессах извлечения золота и серебра из концентрата месторождения «Джамгыр».

Сорбционное извлечение золота и серебра из раствора выщелачивания проводили на ионообменной смоле МА940BG (gold).

Сорбционный каскад представляет собой две последовательно соединенные колонки (1-я – на насыщение; 2-я – на прокок) в следующих условиях:

- удельный объем сорбционной колонны – 0,18 дм³;
- скорость сорбции – 7,5 уд. об/ч или 1,35 дм³/ч;
- направление продуктивного раствора снизу-вверх;
- температура комнатная.

Для контроля степени насыщения ионита в процессе сорбции каждый час проводился отбор проб раствора после прохождения каскада.

После окончания процесса сорбции в каскад дозирующим насосом подавалась вода для промывки ионообменной смолы.

Водная промывка проводилась в следующих условиях:

- скорость промывки – 7,5 уд. об/ч или 1,35 дм³/ч;
- объем промывной воды – 4 уд. об или 0,72 дм³;
- температура комнатная.

После водной промывки из 1-й колонны каскада было отобрано 10 см³ смолы для проведения химического анализа.

Насыщенный сорбент направляли на десорбцию золота и серебра сернокислым раствором тиомочевины [14, 15].

На основании полученных данных в процессе сорбции извлечение целевых компонентов из раствора в ионообменную смолу составило: Au – 100,0 %, Ag – 77,5 %.

Заключение

Проведены лабораторные исследования по переработке золотосодержащего концентрата месторождения «Джамгыр». Изучали влияние концентрации реагента JIN CHAN в интервале от 3,3 до 46,66 г/дм³; продолжительность выщелачивания – от 1 до 5 ч; температура раствора 30–50 °С. В результате проведенных экспериментов достигнуты показатели по извлечению в раствор по бесцианидной технологии:

- Au – 97,5 %;
- Ag – 96,0 %.

Переработка полученных растворов методом сорбции на активированный уголь или ионообменную смолу позволит получить сплав Доре с извлечением золота и серебра не менее 95 % для последующего аффинажа.

Список литературы / References

- [1] Лодейщиков В. В. *Извлечение золота из упорных руд и концентратов*. М.: Недра, 1968. 204 с. [Lodeyshchikov V. V. *Extraction of gold from refractory ores and concentrates*. Moscow, Nedra, 1968. 204 p. (in Russian)]
- [2] Верхозин С. С. Новые нецианистые реагенты для выщелачивания золота производства КНР. *Золотодобыча*, 2016, 215. <https://zolotodb.ru/article/11540> [Verkhozin S. S. New Non-Cyanide Reagents For Leaching Gold Produced In China. *Zolotodobycha*, 2016, 215. <https://zolotodb.ru/article/11540> (in Russian)]
- [3] Барченков В. В., Кудияров Н. Ю. Опыт применения в Китае нецианистого реагента Flotent Gold SC570 для выщелачивания золота из руд. *Золотодобыча*, 2016, 215. <https://zolotodb.ru/article/11546>. [Barchenkov V. V., Kudiyarov N. Yu. Experience of using non-cyanide reagent Flotent Gold SC570 for leaching gold from ores in China. *Gold mining*, 2016, 215. <https://zolotodb.ru/article/11546> (in Russian)]
- [4] Хуан Лихуан. *Техника добычи золота и серебра*. Пекин: Metallургическая промышленность, 2009. [Huang Lihuang. *Gold and silver mining technique*. Beijing, Metallurgical Industry Press, 2009 (in Russian)]
- [5] Guangxi Senhe High Technology Co., L., 30/10/2018. Jinchan gold ore dressing agent, leaching reagent, sodium cyanide replacement, s. 1. https://jinchan.en.ecplaza.net/products/jinchan-gold-ore-dressing-agentleaching-reagentsodium_4092507

[6] Aylmore M.G. and Muir D.M. Thiosulfate leaching of gold—a review. *Minerals Engineering*, 2001, 14(2), 135–174.

[7] Breuer P. and Jeffrey. Thiosulfate leaching kinetics of gold in the presence of copper and ammonia. *Minerals Engineering*, 13(10), 1071–1081.

[8] Grosse A.C., Dicoski G.W., Shaw M.J. and Haddad P.R. Leaching and recovery of gold using ammoniacal thiosulfate leach liquors (a review). *Hydrometallurgy*, 2003, 69(1), 1–21.

[9] Ha V.H., Lee J.-c., Jeong J., Hai H.T. and Jha M.K. Thiosulfate leaching of gold from waste mobile phones. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 178(1), 1115–1119.

[10] Lu Chaofei, Dan Xiaoye, Yun Yaxin, Ju Yonghui, Zhang Tao, Wang Yibing, Que Xiaofeng, Kang Jihong. Extraction of gold from concentrates with the environmentally friendly Jin chan leaching agent. *Gold*, 2014 (5).

[11] Beyuo M., Abaka-Wood G.B., Asamoah R.K., Kabenlah A. and Amankwah R.K. A Comparative Study of Sodium Cyanide and Jinchuan TM Gold Leaching Reagents: A Case Study at Goldfields Ghana Limited. *4th UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference*, 2016, pp. MR195–199.

[12] Плаксин И.Н. *Металлургия благородных металлов*. М.: Metallurgizdat, 1958. 338 с. [Plaksin I.N. *Metallurgy of precious metals*. Moscow, Metallurgizdat, 1958. 338 p. (in Russian)].

[13] Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В. *Металлургия благородных металлов*. М.: Metallurgiya, 1972. 367 с. [Maslenskii I.N., Chugaev L.V. *Metallurgy of precious metals*. Moscow, Metallurgy, 1972. 367 p. (in Russian)].

[14] Лодейщиков В.В., Игнатъев К.Д. *Рациональное использование серебросодержащих руд*. М.: Недра, 1973. 224 с. [Lodeyshchikov V.V., Ignatiev K.D. *Rational use of silver-bearing ores*. Moscow, Nedra, 1973. 224 p. (in Russian)]

[15] Лодейщиков В.В. *Технология извлечения золота и серебра из упорных руд*. Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999. 31 с. [Lodeyshchikov V.V. *Technology for the extraction of gold and silver from refractory ores*. Irkutsk, JSC «Irgiredmet», 1999. 31 p. (in Russian)]