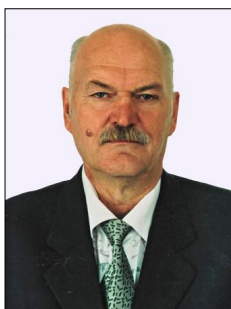


УДК 553.411:622 (571.55)  
DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-8-40-48

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДИСПЕРСНОГО И ТОНКОВКРАПЛЕННОГО СЕРЕБРА ПРИ ЦИАНИДНОМ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ЗОЛОТА

## INTENSIFICATION OF DISPERSED AND FINE-GRAINED SILVER EXTRACTION IN CYANIDE HEAP LEACHING OF GOLD



**Ю. И. Рубцов,**  
Забайкальский государственный  
университет, г. Чита  
ji.rubtsow@yandex.ru

**Yu. Rubtsov,**  
Transbaikal State University, Chita



**А. И. Трубачев,**  
Забайкальский государственный  
университет, г. Чита  
ji.rubtsow@yandex.ru

**A. Trubachev,**  
Transbaikal State University, Chita



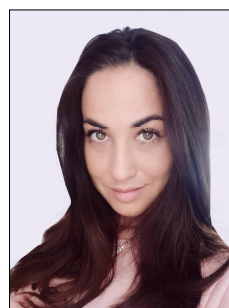
**Е. Т. Воронов,**  
Забайкальский государственный  
университет, г. Чита  
evgeniy.voronov.sabgu@mail.ru

**E. Voronov,**  
Transbaikal State University, Chita



**А. Ю. Лавров,**  
Забайкальский государственный  
университет, г. Чита  
lavrov\_2002@mail.ru

**A. Lavrov,**  
Transbaikal State University, Chita



**А. В. Лаврик,**  
Институт горного дела ДВО РАН,  
г. Хабаровск  
ji.rubtsow@yandex.ru

**A. Lavrik,**  
IGD DVO RAS, Khabarovsk

Поскольку стоимость золота за последние 20 лет значительно возросла, его добычу стали проводить из руд, ранее не приемлемых для технологии кучного выщелачивания (КВ) – это упорные руды с тонко- и ультратонковкрапленными включениями благородных металлов, руды с повышенным содержанием серебра. В Российской Федерации классические представления в области КВ золота и серебра преобладают в проектных решениях. При этом проблема с выщелачиванием серебра рассматривается в плане сопутствующего извлечения основного компонента. Такой подход определяется ограниченным набором технологических мероприятий, ставших неотъемлемой частью классического технологического регламента: дробление руды до класса –200...40 мм, расход цианида натрия на уровне 0,5 кг/т; величина pH – 10,5; продолжительность цикла 65 суток и более; концентрация золота в производственных растворах – доли мг/л; использование активированного угля для сорбции благородных металлов.

При переработке руд с содержанием серебра 30 г/т и более классический подход к КВ золота не позволяет повысить степень извлечения. Возникает необходимость модернизации схемы или изменения параметров технологического регламента. Объектом исследования являлась проба бедной кварцевой руды, предоставленной заказчиком, разрабатывающим одно из золотосеребряных месторождений ДФО, предметом – повышение степени выщелачивания серебра из бедных золотосодержащих руд без изменения технологической схемы и без привлечения дополнительного горнотехнического оборудования.

Проведен критический анализ литературных данных и выявлены основные направления КВ золота из бедных золотосодержащих руд. Исследованы химический и минералогический составы серебросодержащих минералов и рудных пород. Установлены формы ассоциации серебра с рудными минералами и горными породами. Выбран вариант физикохимической активации повышения реакционной способности цианидных растворов при кучном выщелачивании серебра из бедных золотосодержащих руд. В лабораторных условиях установлено, что повышение концентрации цианида натрия в 6 раз и более способствует удовлетворительному извлечению золота как при агитационном, так и при перколяционном выщелачивании серебра. Однако в последнем случае положительный результат получен лишь при использовании растворов с повышенной реакционной способностью

**Ключевые слова:** бедные золотосодержащие руды; серебро; золото; золото видимое и дисперсное; минералогический анализ; тесты; крупность дробления; цианидное выщелачивание серебра; электрофотоактивация; реакционно-способность

Since the cost of gold has increased by an order of magnitude over the past 20 years, gold mining began to be carried out from ores that are not previously acceptable for heap leaching (HL) technology – these are refractory ores with thin and ultrafine inclusions of precious metals, ore with an increased silver content. In the Russian Federation, classical representations in the field of gold and silver HL prevail in design solutions. At the same time, the problem of silver leaching is considered in terms of the associated extraction of the main component. This approach is determined by a limited set of technological measures that have become an integral part of the classic technological regulation: ore crushing to the class –200–40 mm, sodium cyanide consumption at the level of 0,5 kg/t; pH value – 10,5; cycle duration 65 days or more; gold concentration in production solutions – fractions, mg/l; using activated carbon for sorption of noble metals.

Processing ores with silver contents of 30 g/t and a more classical approach to gold HL does not allow to increase the degree of extraction. There is a need to modernize the circuit or change the parameters of the technological regulations. The object of the study was a sample of poor quartz ore provided by the customer developing one of the gold and silver deposits of the Far Eastern Federal District, the object was to increase the degree of leaching of silver from poor gold-bearing ores without changing the technological scheme and without attracting additional mining equipment.

Critical analysis of literary data was carried out and the main directions of gold production from poor gold-bearing ores were identified. Chemical and mineralogical compositions of silver-containing minerals and ore rocks were investigated. Forms of association of silver with ore minerals and rocks have been established. The option of physical and chemical activation of increase of reactivity of cyanide solutions during heap leaching of silver from poor gold-bearing ores is chosen. In laboratory conditions, it was found that an increase in the concentration of sodium cyanide by 6 times or more contributes to a satisfactory extraction of gold both in agitation and percolation leaching of silver. However, in the latter case, the positive result was obtained only with the use of solutions with increased reactivity

**Key words:** poor gold-bearing ores; silver; gold; visible and dispersed gold; mineralogical analysis; tests; crushing size; cyanide leaching of silver; electro-photo activation; reactivity

**В**ведение. В последнее время работодателей мало беспокоит низкая степень извлечения золота и тем более – серебра. При этом положительно воспринимаются новые проекты с использованием зарубежных высокоэнергетических мельниц ультратонкого помола, несмотря на низкую рентабельность и убыточность технологии. В дальнейшем у таких предприятий одна перспектива –

банкротство и перепродажа предприятия с правом эксплуатации месторождения зарубежной фирмой. В данной работе рассматривается перспективный вариант повышения извлечения серебра, который в связи с невысокой энергозатратностью и эффективностью может быть использован при КВ благородных металлов из коренных и упорных золотосодержащих руд и позволит повысить

устойчивость, рентабельность и прибыль предприятий КВ золота.

**Актуальность исследования.** Основные положения Раснедрапользования в области переработки бедных золотосодержащих руд методом КВ заключаются в том, чтобы степень извлечения благородных металлов оставалась не ниже 70 %. Экономический фактор имеет решающее значение в процессе принятия решений о целесообразности промышленного извлечения серебра при КВ золота, все выводы базируются на использовании надежной геологоразведочной информации, выборе технологической схемы и спроса на металл.

**Объект исследования** – бедная золото-содержащая руда. Средняя плотность кварцевой руды составила 2,552 г/см<sup>3</sup>; пористость – 5,06 %.

**Цель исследования** – на основе анализа литературных данных, исследования минеральных форм нахождения дисперсного серебра, тестовых поисковых лабораторных

исследований предложить относительно простой метод повышения степени извлечения серебра при цианидном КВ золота из упорных бедных коренных кварцевых руд.

**Задачи исследования:** на базе лабораторных поисковых исследований повысить извлечение серебра в производственный раствор в условия сохранения технологического регламента КВ золота.

**Материалы и методы исследования.** Комплексные минералого-петрографические и химико-аналитические исследования выполнены с использованием средств оптической и электронной микроскопии, аналитической аппаратуры. Минералы серебра в исследуемой пробе руды разнообразны и выявлены при минералогическом анализе, а также при электронно-микроскопических исследованиях: кюстелит Ag<sub>3</sub>Au, аргентит Ag<sub>2</sub>S, гессит Ag<sub>2</sub>Te, кераргирит AgCl, агвиларит Ag<sub>2</sub>(Se, S) (рис. 1) и самородное серебро, на них приходится незначительная доля (>10 %).

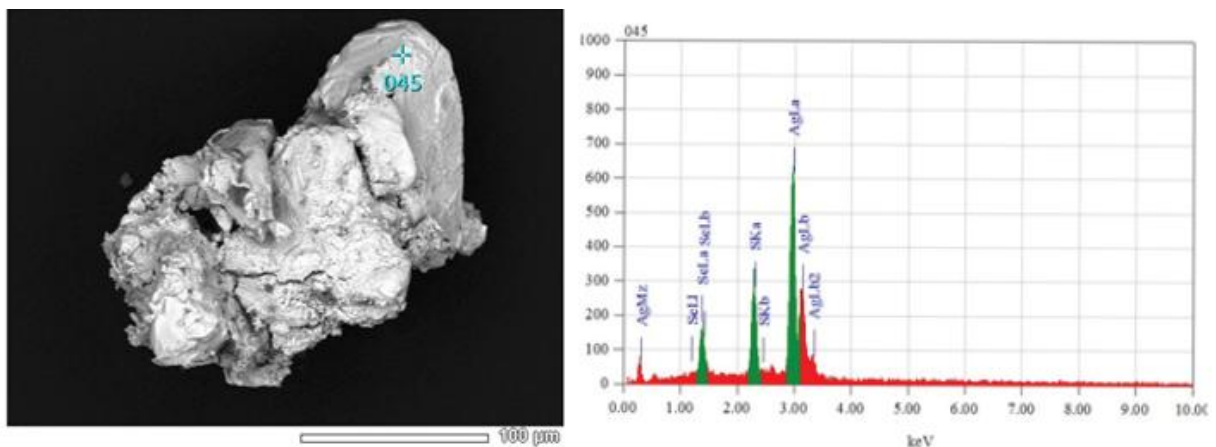


Рис. 1. Зерно агвиларита Ag<sub>2</sub>(Se, S) размерностью 220 мкм при электронномикроскопических исследованиях. Содержание, %: атомное: Ag – 52,05; Se – 14,96; S – 32,99; весовое: Ag – 71,49; Se – 15,04; S – 13,47 / Fig. 1. Agvilarite grain Ag<sub>2</sub>(Se, S) with a dimension of 220 microns in electron microscopic studies. Atomic content (%): Ag – 52,05; Se – 14,96; S – 32,99; weight: Ag – 71,49; Se – 15,04; S – 13,47

Цианирование – это наиболее распространенный метод селективного извлечения серебра из бедных золотосодержащих кварцевых руд [1; 3–8; 11]. При КВ золота извлечение серебра носит попутный характер, так как содержание серебра в кварцевых рудах оценивается в таком же объеме, как и золото.

Поскольку цианидные комплексы золота более устойчивы, чем аналогичные комплексы серебра, становится понятным преимущественный переход в производственный раствор сначала золота и меньшая степень извлечения серебра, что подтверждается экспериментальными данными (табл. 1) [2].

Таблица 1 / Table 1

Данные по цианидному выщелачиванию золота и серебра из кварцевых руд /  
Data on cyanide leaching of gold and silver from quartz ores

Наименование месторождения / Name of the field	Класс крупности, мм (-) / Size class, mm (-)	Содержание Au в исходной руде, г/т / Gold content in the source ore, g/t	Содержание Ag в исходной руде, г/т / Silver content in the source ore, g/t	Концентрация NaCN, мг/л / NaCN concentration, mg / l	Степень извлечения Au, % / Degree of extraction of gold, %	Степень извлечения Ag, % / Degree of extraction silver, %	Расход NaCN, кг/т / NaCN consumption, kg/t	Расход CaO, кг/т / Lime consumption, kg/t
Хирсхона	200	0,60	0,84	300	49,2	30,3	0,2	0,2
Сев. Джилау	200	1,05	0,71	700	61,8	20,6	0,3	0,3
Олимпское	200	0,63	0,75	300	59,9	28,9	0,3	0,2
Хирсхона	50	0,72	0,88	300	60,9	17,0	0,5	0,3
Сев. Джилау	50	1,03	0,86	300	81,3	25,6	0,5	0,3
Олимпское	50	0,88	1,10	700	64,2	28,3	0,6	0,3

Электронно-микроскопическими исследованиями идентифицируются зерна золота и электрума в среднем размером до 25 мкм (рис. 2).

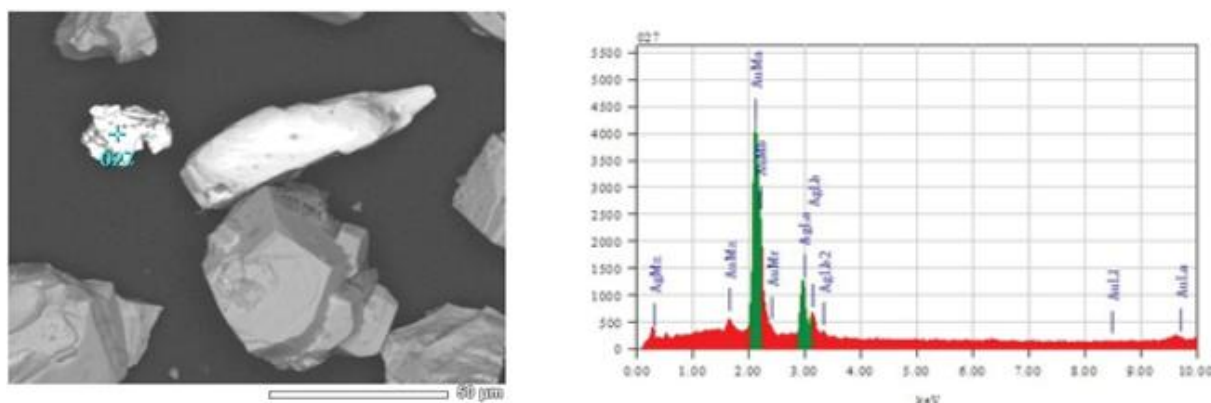


Рис. 2. Зерно золота с примесью серебра (электрум) размерностью 25 мкм при электронно-микроскопических исследованиях. Содержание, %, атомное: Au – 63,54; Ag – 36,46; весовое: Au – 76,09; Ag – 23,91 / Fig. 2. Grain of gold with an admixture of silver (electrum) with a dimension of 25 microns in electron microscopic studies. Content, %, atomic: Au – 63,54; Ag – 36,46; weight: Au – 76,09; Ag – 23,91

В свою очередь золото с существенной примесью серебра, вплоть до идентификации его микрозерен как электрума, можно рассматривать как фактор упорности для цианидного выщелачивания серебра. По результатам химического анализа содержание серебра – 51...52,34 г/т. Выявлена неравномерность распределения серебра по классам крупности руды. При дроблении до круп-

ности –10 мм основная масса (83 %) серебра сосредоточена в классе крупности –10+2 мм (табл. 2). По этой причине диффузионное торможение при выщелачивании серебра осложняется внутренней диффузией внутри дробленной руды и кинетическим фактором, связанным с первичностью цианирования золота.

Таблица 2 / Table 2

Гранулометрический состав и распределение серебра по классам крупности /  
Granulometric composition and distribution of silver grains into classes by size

Класс крупности, мм / Size class, mm	Выход класса, % / Class output, %	Содержание Ag, г/т / Content Ag, g/t	Класс крупности, мм / Size class, mm	Выход класса, % / Size class, %	Содержание Ag, г/т / Content Ag, g/t
–10+5	52,6	30,5	–0,5+0,2	2,3	66,2
–5+2	31,3	43,5	–0,2+0,1	1,2	82,7
–2+1	6,3	55,7	–0,1+0,071	0,4	117,2
–1+0,5	2,7	50,7	–0,071+0,04	0,7	137
			–0,04+0	2,5	244

Лабораторные экспериментальные тесты по агитационному (на навесках 0,5 кг) и перколяционному (на навесках 2,5 кг) выщелачиванию золота и серебра проводили на руде, соответственно измельченной до

выхода 60 % класса –71 мкм и дробленой до класса –5 мм. Содержание основных минеральных компонентов и микроэлементов представлено в табл. 3, 4.

Таблица 3 / Table 3

Результаты химического анализа кварцевой руды / Results of chemical analysis of quartz ore

Название пробы / Sample's name	Содержание основных компонентов, % / Content of the main components, %							Содержание, г/т / Content, g/t	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	S <sub>общ</sub>	Au	Ag
Коренная руда / Fundamental ore	80,29	10,25	2,10	0,53	3,30	0,96	0,8	1,09	51,0

Таблица 4 / Table 4

Содержание микроэлементов (спектральный анализ) в кварцевой руде /  
Trace element content (spectral analysis) in quartz ore

Элемент / Element	Au	Ag	As	Cu	Co	Mn	V	P	Zn	Pb	Bi
Содержание в пробе, г/т / Content in the sample, g/t	<1	30	100	25	180	180	100	250	30	<10	<1

Результаты исследования и их обсуждение. Спектральный анализ на сопутствующие микрокомпоненты руд, результаты которого приведены в табл. 4, показывает, что концентрация микроэлементов, связывающих ионы цианида (медь, кобальт, никель) в руде, незначительна и не может вызывать осложнений в технологических процессах. Содержание видимого золота в руде не превышает 0,1 г/т. Доля условно «свободного» (высвобождаемое при соответствующей степени измельчения) золота в руде составляет порядка 10 % и не имеет самостоятельного промышленного значения, так как соотно-

шение установленного анализом общего золота на порядок превышает количество золота, наблюдаемого визуально. Основная масса серебра, вероятно, ассоциирована с невидимым или дисперсным золотом или с сульфидами и гидроксидами железа. Три четверти исследуемой пробы содержат интенсивно обохренные породы зеленовато-желтого и буроватого цвета. Среди этой части пород можно выделить риолиты окварцованные, катаклазированные, интенсивно выщелоченные и обохренные; кварц жильный обохренный, с занорышами, выполненными друзовидным кварцем; метасоматиты

альбит-кварцевые, калишпат-кварцевые. Для всех оруденелых пород пробы характерна рассеянная пылевидная вкрапленность сульфидов до 2 % от массы руды (пирита, реже арсенопирита, халькопирита, единично – сфалерита, галенита, пирротина). Значительно преобладает пирит.

Одна четверть общей пробы состоит из риолита кремово-серого цвета порфировой структуры, массивной текстуры, участками обломочной; кварцита, содержащего, кроме жильного молочно-белого кварца, альбит-адуляр, калиевый полевой шпат, карбонаты, мусковит, хлорит; метасоматозов (альбит-кварцевых, калишпат-кварцевых) массивных, с редкой рассеянной пылевидной вкрапленностью сульфидов (пирит) и редко – арсенопирита. Обломочный материал пробы представлен на 50 % глинисто-песчаной фракцией. Примерно до 1/3 по объему проба руды окислена: активно развиваются пленки, корочки и охры желто-бурого, бурого, вишневого до черного цвета оксидов и гидроксидов железа в виде лимонита, ярозита, гётита, лепидокрокита, гематита. Таким образом, исследуемую руду следует считать рудой переходной или промежуточной, находящейся между окисленной и неокисленной коренной зонами.

Исследования по интенсификации выщелачивания серебра проводили в соответствии с требованиями методологии создания среды с повышенной реакционной способностью. В исходный раствор вводили гидроксид кальция в количестве необходимом для создания величины pH = 10,5, гидрокарбонат

натрия до 2 % в качестве дополнительного реагента комплексообразователя при выщелачивании железа и дополнительного реагента для активации среды. Предполагалось, что при разрушении минеральных железных пленок должно высвободиться дисперсное золото, содержащее серебро, которое становится доступным для цианидных комплексов. Такие растворы успешно апробированы на ряде аналогичных объектов. Использование растворимых гидрокарбонатных соединений позволяет повысить извлечение дисперсного золота из окварцованных минералов за счет перевода оксида кремния в силанолы (SiOH) и дисиланолы  $Si_2(OH)_2$ , отделяющиеся от кремнекислородной группы с образованием протонов. Лабораторные тесты по агитационному цианидному выщелачиванию золота и серебра из дробленой до класса –5 мм руды проведены в закрытых трубчатых пластиковых контейнерах, вращающихся с частотой 120 об/мин на рольгангах, отношение Ж:Т выдерживалось равным 1:1. Предварительными поисковыми исследованиями установлено, что с целью более полного выщелачивания серебра из руды исходную концентрацию цианида натрия в растворе необходимо поддерживать на уровне не менее 3 г/л. Раствор повышенной реакционной способности получали путем добавления кристаллического цианида натрия к заранее электрофотоактивированному бикарбонатному раствору. В табл. 5 приведены результаты по агитационному выщелачиванию благородных металлов.

Таблица 5 / Table5

Результаты агитационного выщелачивания золота и серебра из руды переходной зоны /  
Results of agitation leaching of gold and silver from ore transition zone

Схема выщелачивания / Scheme leaching	Au, г/т / Au, g/t			Выход Au в продуктивный раствор, % / Au Output in the products solution, %	Ag, г/т / Ag, g/t			Выход Ag в продуктивный раствор, % / Ag Output in the products solution, %
	Исходное содержание / Original content	Жидкая фаза / Liquid phase	Твердая фаза (кеки) / Solid phase (cakes)		Исходное содержание / Original content	Жидкая фаза / Liquid phase	Твердая фаза (кеки) / Solid phase (cakes)	
Классическая / Classic	1,09	0,95	0,14	87,9	54,53	50,89	3,64	93,32
С использованием раствора повышенной реакционной способности / Using a solution of increased reactivity	1,09	1,07	0,12	98,8	51,00	48,69	2,31	95,47

Как видно из табл. 5, выщелачивание благородных металлов с повышенной концентрацией цианида натрия в условиях интенсивного перемешивания пульпы приводило к высокому извлечению и золота, и серебра как в случае использования классического цианирования, так и в случае использования активированного раствора с повышенной реакционной способностью.

В связи с тем, что КВ проходит в ламинарном режиме истечения раствора, исключая образование взвесей, для тестирования перколяционного выщелачивания благородных металлов за основу принята карбонатно-цианидная схема, включающая обработку дробленой до класса  $-5$  мм руды активированным раствором гидрокарбоната натрия с концентрацией  $2$  г/л. Активацию раствора проводили путем электролиза раствора в течение  $1$  ч и последующего ультрафиолетового облучения лампой ДРТ 240 в течение  $7$  мин. В активированный раствор добавляли цианид натрия до концентрации  $3$  г/л с последующим кондиционированием щелочью до  $\text{pH} = 10,5$ . Навеска руды загружалась в пластиковые трубчатые перколяторы и орошалась активированным карбонатно-цианидным раствором с суточным расходом  $0,1$  л, что соответствует плотности орошения  $24,5$  л/м<sup>2</sup> в сутки. Исходная концентрация цианида натрия в продукционных растворах восстанавливалась к 7-му циклу выщелачивания. В связи с этим начиная с 9-го цикла последующий цикл вводили в количестве, обеспечивающем фиксацию  $\text{CNaCN}$  в предыдущем продукционном растворе. Общий расход цианида натрия на выщелачивание золота и серебра составил  $2,25$  кг/т. Такой расход цианида натрия приемлем при существующих ценах на благородные металлы. Величина  $\text{pH}$  в эксперименте с активационной перколяцией относительно агитационного выщелачивания изменялась незначительно. Выщелачивание золота не учитывалось на его выход в продукционный раствор по достижении его концентрации в продукционном растворе на уровне  $0,1$  мг/л или после 7 суток. Выщелачивание серебра по этим же причинам прекращено через 12 суток. Характер изменения степени извлечения благородных металлов в продукционный раствор представлен на рис. 3.

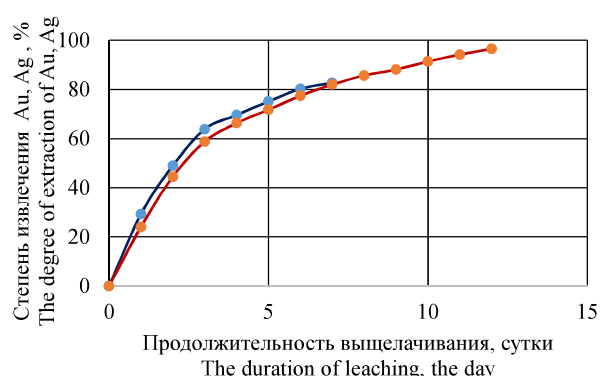


Рис. 3. Перколяционное выщелачивание золота (1) и серебра (2) активированным цианидным раствором с  $C_{\text{NaCN}} = 3$  г/л / Fig. 3. Percolation leaching of gold (1) and silver (2) with activated cyanide solution with  $C_{\text{NaCN}} = 3$  g/l

Из данных рис. 3 видно, что на 12-е сутки извлечение серебра в продукционный раствор составило  $96,6$  %. Дополнительная стоимость за счет попутного извлечения серебра может превышать  $50$  % от стоимости основного ценного компонента – золота. В данном случае уже на предпроектном уровне положительно решается вопрос о рациональном комплексном использовании бедных золотосодержащих руд. При достижении высоких концентраций благородных металлов в продукционных растворах – а эта проблема уже решена в случае использования скоростного КВ золота, в частности, при использовании активированных наислороженных растворов – возможно упрощение технологической схемы в плане замены относительно сложного варианта сорбции-десорбции комплексов благородных металлов и электролиза, фильтрации, сушки кека и плавки на более простой – осаждение благородных цинковой пылью с последующей фильтрацией, сушкой кека и плавкой.

**Заключение.** Бедные золотосодержащие кварцевые руды могут содержать значительные количества серебра и должны рассматриваться как комплексные руды благородных металлов. Критический анализ литературных данных и минералогические исследования указали на упорность серебра в бедных золотосодержащих рудах.

Для интенсификации извлечения серебра при перколяционном выщелачивании использованы активированные цианидные растворы с концентрацией цианида натрия  $3$  г/л.

Степень извлечения серебра в производственный раствор достигнута на уровне 96,6 %.

Разработанная методика предполагает эффективное комплексное извлечение зо-

лота и серебра из кварцевых бедных руд при их КВ активированными растворами с повышенной реакционной способностью.

### Список литературы

1. Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Абрютин Д. В. Технология переработки золотосодержащего сырья М.: МИСиС, 2011. 328 с.
2. Зинченко З. А., Самихов Ш. Р., Бобохонов Б. А. Исследования по колонному выщелачиванию золотосодержащих руд различных месторождений Таджикистана // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2010. Т. 53, № 7. С. 553–556.
3. Кучное выщелачивание благородных металлов / под ред. М. И. Фазлуллина. М.: Академия горных наук, 2001. 647 с.
4. Лодейщиков В. В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: в 2 т. Т. 1. Иркутск: Иргиредмет, 1999. 342 с.
5. Лодейщиков В. В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: в 2 т. Т. 2. Иркутск: Иргиредмет, 1999. 452 с.
6. Лодейщиков В. В., Игнатьева К. Д. Рациональное использование серебросодержащих руд. М.: Недра, 1973. С. 50–97.
7. Масленицкий И. Н., Чугаев Л. В., Борбат В. Ф. Metallurgy благородных металлов. М.: Metallurgy, 1987. 432 с.
8. Наталенко М. В. Гидротермально-метасоматические вмещающих пород Биркачанского золото-серебряного месторождения (Магаданская область) // Руды и металлы. 2003. № 3. С. 35–42.
9. Седельникова Г. В. Опыт применения кучного выщелачивания золота // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2001. № 3. С. 42–45.
10. Murthy D. S. R., Akerkal D. D. Thioured as prospective leachant for the extraction of gold and silver // Metals and Materials International. 1988. No. 68. P. 119–121.
11. Sekisov A. G. Cluster chemical reactions at mineral-liquid interface in metal leaching by photo-electroactive water-and-gas emulsions // IOP Conference series: earth and environmental science. Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2017. P. 012034.

### References

1. Bocharov V. A., Ignatkina V. A., Abryutin D. V. *Tehnologiya pererabotki zolotosoderzhashchego syriya* (Technology of processing of gold-containing raw materials. Moscow: MISiS, 2011. 328 p.
2. Zinchenko Z. A., Samikhov Sh. R., Bobokhonov B. A. *Doklady Akademii nauk Respubliki Tadjikistan* (Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan), 2010, vol. 53, no. 7, pp. 553–556.
3. *Kuchnoye vyshchelachivaniye blagorodnyh metallov* (Heap leaching of precious metals) / ed. M. I. Fazlullina. Moscow: Academy of Mining Sciences, 2001. 647 p.
4. Lodeyschikov V. V. *Tehnologiya izvlecheniya zolota i serebra iz upornyh rud: v 2 t. T. 1* (Technology of gold and silver extraction from refractory ores: in 2 vol. V. 1). Irkutsk: Irgiredmet, 1999. 342 p.
5. Lodeyschikov V. V. *Tehnologiya izvlecheniya zolota i serebra iz upornyh rud: v 2 t. T. 2* (Technology of gold and silver extraction from refractory ores: in 2 vol. Vol. 2). Irkutsk: Irgiredmet, 1999. 452 p.
6. Lodeyshchikov V. V., Ignatieva K. D. *Ratsionalnoye ispolzovaniye serebrosoderzhashih rud* (Rational use of silver-containing ores). Moscow: Nedra, 1973, pp. 50–97.
7. Maslenskiy I. N., Chugaev L. V., Borbat V. F. *Metallurgiya blagorodnyh metallov* (Metallurgy of precious metals). Moscow: Metallurgy, 1987. 432 p.
8. Natalenko M. V. *Rudy i metally* (Ores and metals), 2003, no. 3, pp. 35–42.
9. Sedelnikova G. V. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye* (Mineral resources of Russia. Economics and Management), 2001, no. 3, pp. 42–45.
10. Murthy D. S. R., Akerkal D. D. *Metals and Materials International* (Metals and Materials International), 1988, no. 68, pp. 119–121.
11. Sekisov A. G. *IOP Conference series: earth and environmental science* (IOP Conference series: earth and environmental science). Novosibirsk: Institute of Physics Publishing, 2017, pp. 012034.



**Коротко об авторах**

*Рубцов Юрий Иванович*, д-р техн. наук, профессор кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, Забайкальский государственный университет; Читинский филиал ИГД СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геотехнология и металлургия благородных металлов  
ji.rubtsow@yandex.ru

*Трубачев Алексей Иванович*, д-р геол.-минер. наук, профессор кафедры обогащения и вторичного сырья, Забайкальский государственный университет; Читинский филиал ИГД СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геология месторождений цветных и благородных металлов, технологическая минералогия  
ji.rubtsow@yandex.ru

*Воронов Евгений Тимофеевич*, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геоэкология, экологическая и радиационная безопасность по разработке МПИ  
evgeniy.voronov.sabgu@mail.ru

*Лавров Александр Юрьевич*, канд. техн. наук, доцент, декан факультета Экономики и управления, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, менеджмент в горном деле.  
lavrov\_2002@mail.ru

*Лаврик Александра Викторовна*, научный сотрудник Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия. Область научных интересов: геотехнология месторождений цветных и благородных металлов  
ji.rubtsow@yandex.ru

**Briefly about the authors**

*Yuriy Rubtsov*, doctor of technical sciences, professor, Transbaikal State University; branch of IGD SB RAS, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: Geotechnology and metallurgy of precious metals

*Aleksey Trubachev*, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Enrichment and Secondary Raw Materials department, Transbaikal State University, branch of IGD SB RAS, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: Geology of deposits of non-ferrous and precious metals, technological Mineralogy

*Evgeny Voronov*, doctor of technical sciences, professor, distinguished scientist, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: Geoecology, environmental and radiation safety in the development of MPI

*Aleksandr Lavrov*, candidate of technical sciences, associate professor, dean, Economics and Management faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineral enrichment, management in mining

*Aleksandra Lavrik*, research associate of IGD DVO RAS, Khabarovsk, Russia. Sphere of scientific interests: Geotechnology of deposits of non-ferrous and precious metals

**Образец цитирования**

*Рубцов Ю. И., Трубачев А. И., Воронов Е. Т., Лавров А. Ю., Лаврик А. А. Интенсификация извлечения дисперсного и тонковкрапленного серебра при цианидном кучном выщелачивании золота // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 8. С. 40–48. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-8-40-48.*

*Rubtsov Yu., Trubachev A., Voronov E., Lavrov A., Lavrik A. Intensification of dispersed and fine-grained silver extraction in cyanide heap leaching of gold // Transbaikal State University Journal, 2020, vol. 26, no. 8, pp. 40–48. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-8-40-48.*

Статья поступила в редакцию: 16.09.2020 г.  
Статья принята к публикации: 14.10.2020 г.