

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СКОРОСТНОГО АКТИВИРОВАННОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА

Ю. И. Рубцов^{1,2}, П. Б. Авдеев², В. Г. Черкасов², А. Ю. Лавров²

¹ Читинский филиал Института горного дела СО РАН, Чита, Россия;

² Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

Аннотация: Кучное выщелачивание золота в РФ реализуется по классическому варианту, включающему стадии дробления, окомкования, приготовления цианидного раствора, орошения, сорбции-десорбции, электролиза и плавки с получением слитка. Классический вариант КВ золота успешно реализуется при переработке бедного окисленного минерального золотосодержащего сырья с содержанием свободного золота до 50 % и более. В настоящее время доля бедных золоторудных месторождений невелика. Руды северных широт и находящиеся на глубине более 50 м от поверхности, как правило, упорные, вследствие незначительной степени окисленности сульфидных минералов и наличием тонковкрапленного золота в коренных породах. Затраты на извлечение упорного золота резко увеличились, а степень извлечения снизилась. Тем не менее, КВ золота до настоящего времени остается основным методом переработки бедных золотосодержащих кварцевых руд. Этому способствует резкий подъем цен на золото. Скоростной активированный режим КВ золота разработан с целью повышения эффективности переработки упорных бедных золотосодержащих кварцевых руд. В работе дается краткая характеристика основных технологических принципов скоростного активированного КВ золота из упорного минерального сырья. Предлагаемый метод КВ золота способен конкурировать с методами автоклавного или бактериального выщелачивания, с методом, в котором используется супертонкое измельчение. Показана возможность эффективного извлечения золота на примере скоростного активационного КВ золота из обожженных хвостов свинцовой флотации.

Ключевые слова: золото, степень дробления руды, наисклороживание, поршневое орошение, скоростное кучное выщелачивание, электро-фото-активация, активационное кучное выщелачивание, ультратонкое измельчение, обжиг флотационных сульфидных хвостов, извлечение золота.

Для цитирования: Рубцов Ю. И., Авдеев П. Б., Черкасов В. Г., Лавров А. Ю. Основные принципы скоростного активированного кучного выщелачивания золота // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-1. – С. 88–98. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_88.

Basic principles of high-speed activated heap gold leaching

Yu. I. Rubtsov^{1,2}, P. A. Avdeev², V. G. Cherkasov², A. Yu. Lavrov²

¹ Chita branch of the IGD SB RAS, Chita, Russia;

² Zabaikalsky state University, Chita, Russia

Abstract: Heap gold leaching in Russia is implemented by the classical technology including milling, nodulizing, preparation of cyanide solution, sprinkling, sorption-desorption, electrolysis and melting into bars. The classical heap gold leaching scenario is suitable for processing of low-grade oxidized gold-bearing raw material with free gold content up to 50 % and more. Currently percentage of low-grade gold deposits is small. Northern ore minerals occur at a depth more than 50 m below surface and are rebellious as a rule, due to slight oxidation of sulfide minerals and owing to fine gold impregnated in bed rocks. The cost of rebellious gold recovery has increased while its extractability has dropped. Nonetheless, heap gold leaching yet remains the prime method to process low-grade gold-bearing quartz ore. This is contributed to by the jump of gold prices. Aimed to enhance processing efficiency of rebellious low-grade gold-bearing quartz ore, the high-speed activated heap gold leaching mode is developed. This article offers a brief description of the basic principles of high-speed activated heap leaching of gold from rebellious minerals. The proposed heap gold leaching method can compete with the methods of autoclave and bacterial leaching, and with the method including super fine milling. Feasibility of effective gold recovery is proved in terms of high-speed activated heap leaching of gold from baked tailings of lead flotation.

Key words: gold, ore grindability, oxygen saturation, piston sprinkling, high-speed heap leaching, electro-photo-activation, activated heap leaching, super fine milling, baking of sulfide flotation tailings, gold recovery.

For citation: Rubtsov Yu. I., Avdeev P. A., Cherkasov V. G., Lavrov A. Yu. basic principles of high-speed activated heap gold leaching. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-1):88–98. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_88.

Введение

Практика кучного выщелачивания золота из бедных кварцевых руд показала, что относительно легко перерабатываемые окисленные золотосодержащие кварцевые руды на месторождениях мощностью 20–40 т золота и более, как правило, исчерпываются через 2–4 сезона, и золотодобытчики сталкиваются с трудностями при выщелачивании дисперсного, труднодоступного для реагентов золота. Широко представленный в литературе классический метод кучного выщелачивания золота с использованием капельного орошения и небольших концентраций цианида натрия в орошаемых растворах не позволяет достичь проектной степени извлечения золота из коренных неокисленных и малосульфидных упорных руд и промпродуктов. Метод скоростного активированного ВВ золота позволяет извлекать золото

из упорных руд на уровне 70–85 %, снизить затраты на выщелачивание, сократить общую продолжительность производственного цикла в 4–6 раз, увеличить на порядок и более концентрацию золота в продукционных растворах.

Термин скоростное выщелачивание золота введен впервые И. Н. Плаксиным [1]. Дальнейшее развитие этого метода, с нашей точки зрения, требует обоснования основных принципов оценки и учета его особенностей, обеспечивающих его эффективное промышленное использование.

Объектом для исследований являлись окисленные, полуокисленные кварцевые руды Забайкалья и упорные золотосодержащие сульфидные хвосты свинцовой флотации. В исследованиях использовались физические, химические физико-химические методы обработки технологических растворов,

проб руд и техногенного минерального сырья, атомно-абсорбционный и пробирный анализы, которые проводились в лицензионных и сертифицированных лабораториях и НИИ г. Читы и Хабаровска. Основы принципов сформулированы на базе обобщения многолетних исследований, проведенных в лабораторных условиях и в полупромышленных испытаниях.

Метод скоростного активированного КВ золота разработан в ЗабГУ. Цель и задачи работы — совершенствование способа скоростного кучного выщелачивания при его использовании для переработки упорных руд и техногенного минерального сырья, а также обоснование основных принципов скоростного активированного КВ золота.

Принцип учета фактора крупности дробления при скоростном активированном КВ золота. Оптимальная крупность дробления руды определяется формой нахождения золота и его упорностью к выщелачиванию. Как показали исследования, скоростное активированное КВ золота реализуется при условии мелкого дробления руды до классов $-3\div-10$ мм. С появлением в конце XX века роторных дробилок типа «Бармак» такая степень дробления не является технической проблемой [2–3]. Более мелкое дробление затратно и предполагает возможные потери золота в цианидном растворе с необратимой хемосорбцией цианида золота на руде.

Принцип окомкования дробленной руды при скоростном активированном КВ золота. Окомкование мелкодробленной руды перед скоростным активированным КВ золота обязательно [2–3]. Обычно его проводят во вращающихся барабанных аппаратах диаметром 1–3 м. Продолжительность окомкования составляет порядка

5–30 мин. Гранулы при выстаивании в штабелях на воздухе цементируются под действием вяжущих компонентов и не разрушаются в кучах высотой 6 м и более (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что пустоты между дроблеными кусочками руды заполнены окомкованными мелкими частицами, это обеспечивает ламинарный режим истечения раствора. В отличие от классического варианта, перед скоростным активированным КВ золота на стадии окомкования, кроме вяжущих элементов (цемента и извести), в руду вводят цианид натрия в виде раствора в количестве, равном полному его расходу на цианирование. По причине того, что количество воды при окомковании составляет 6–10 % от веса руды, концентрация цианида натрия в растворе при окомковании увеличивается на порядок, и она больше, чем в растворе в случае классического орошения. Определена оптимальная концентрация цианида натрия в растворе при окомковании руды, равная 13,5–15,5 г/л. Расход цианида натрия при окомковании руды изменяется в интервале $0,5\div 1\pm 0,2$ кг/т. Оптимальная влажность



Рис. 1. Распределение окомкованного материала внутри дробленной руды после проведения процесса скоростного активированного КВ золота

Fig. 1. Distribution of the granulated material after the process of high-speed heap gold leaching

рудной массы при окомковании зависит от крупности дробления руды и изменяется в пределах 6,5–8 %.

Принцип выстаивания и “поршневого” режима орошения при скоростном активированном КВ золота.

Параметры классического капельного орошения следующие: продолжительность стадии замачивания штабеля составляет 4–7 суток; продолжительность КВ золота – 60–200 суток; объемы буферных прудков 14000 – 40000 м³; концентрация цианида натрия и кислорода в орошающих растворах – 0,3–0,5 мг/л и 8 мг/л соответственно; средняя концентрация золота в продукционных растворах 0,3 – 0,45 мг/л.

Параметры “поршневого” режима орошения при скоростном активированном КВ золота резко отличаются и требуют дополнительного объяснения. Так, стадия замачивания руды исключалась. Это объяснялось тем, что весь цианид с раствором вводился в руду уже в стадии окомкования. Выщелачивание золота фактически начиналось в стадии окомкования с концентрациями цианида натрия и кислорода, превышающих таковые при классическом КВ золота в 30 и 5 раз соответственно. Такие концентрационные параметры приводили практически к полному переводу свободного и доступного в сростках золота в растворимый цианид золота в течение 4–7 суток при температуре не ниже 10–17 °С. Выщелачивание золота фактически сводилось к вымыванию образованных золото-цианидных комплексов орошающим раствором. В качестве исходного раствора для орошения использовали наислороженный раствор с $C_{O_2} = 35–39$ мг/л и расходом 0,12 м³/м²сутки. При орошении требуемый объем раствора вводили в течение 5–20 мин. При этом на поверхности образовывался слой жидкости высо-

той 0,06–0,1 м. Через 25–60 мин этот слой впитывался окомкованным материалом и опускался со скоростью 0,5–1,5 м/ч. Такой режим орошения назван “поршневым”. При этом в режиме ламинарного истечения жидкости без разрушения гранул происходило насыщение кислородом жидкой фазы и вымывание из окомкованной руды цианида золота. Объемы получаемых продукционных растворов в первые 1–4 суток составляли 25 – 85 % от объема исходных растворов.

“Поршневой” режим орошения разработан с целью снижения расхода раствора на орошение, создание дефицита воды в технологической схеме КВ золота. В теплый сезон длительностью 6 месяцев и при продолжительности скоростного активированного КВ золота 1 месяц возможно переработать 1000000 т руды на 2-х штабелях площадью по 11700 м² за один теплый сезон. Если штабель разделить на 10 одинаковых секций площадью по 1170 м², то на суточное орошение каждой секции достаточно 140 м³.

Схема орошения секции штабеля и результаты расчета системы орошения на площади порядка 1500 м² (одна из 10 секций штабеля) приведены соответственно на рис. 2 и в табл. 1–3. Расчетные характеристики заглушенных перфорированных трубопроводов с расходом 100 м³/час (27,78 л/с) сделаны для трубопровода подводящей трубы $d = 200$ мм, длиной 25 м, напор в диктующей точке – 10 м, напор в 1-ом отверстии – 5 м, диаметр отверстий перфорации 10 мм.

Необходимо обратить внимание на концентрацию золота в продукционных растворах при скоростном активированном КВ золота. При агитационном, автоклавном и классическом КВ золота для бедных золотосодержащих руд в целом сохраняется условие $T:Ж \leq$

1. В соответствии с этим условием концентрация золота в продукционном растворе составляет 0,05 — 0,5 мг/л. В случае

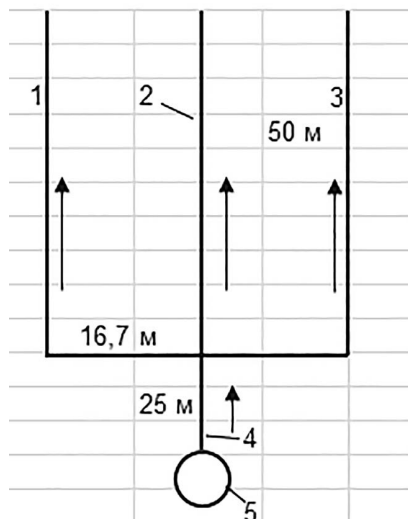


Рис. 2. Схема перфорированного трубопровода для подачи циркуляционного раствора на поверхность одной секции штабеля в режиме «поршневого орошения»: 1, 3 — крайние распределители, 2 — средний (центральный) распределитель, 4 — подводящий распределитель, 5 — центральная система подачи раствора
Fig. 2. diagram of a perforated pipeline for supplying circulatory solution in the piston irrigation mode: 1 and 3 extreme distributors, 2 middle (Central) distributor, 4 — leading distributor, 5-Central solution supply system

использования «поршневого» режима орошения золото извлекают до 70 % и более в продукционный раствор через 2–4 суток с концентрацией $C_{Au} = 3 - 22$ мг/л. Если учесть переработку гидрометаллургическим цехом только богатых растворов, то их суточный объем не превысит 1000 м³. Заканчивают выщелачивание на 7–10 суток с $C_{Au} = 0,2 - 0,4$ мг/л. Высокие концентрации золота в продукционных растворах предполагают упрощение технологической схемы за счет операции осаждения на цинке. Но эта проблема остается еще недостаточно изученной.

Принцип наклороживания цианидных растворов описан в трудах И. Н. Плаксина [1]. При КВ золота диффузионное торможение за счет недостатка кислорода в цианидном растворе существенно. При атмосферном давлении скорость выщелачивания золота растет пропорционально увеличению концентрации кислорода. В нормальных условиях насыщение кислородом циркулирующих цианидных растворов приводит к увеличению концентрации с 8 до 35–40 мг/л. При этом скорость КВ золота возрастает в 2 раза и более. Основная причина неприятия процесса наклороживания растворов на установках КВ золота — отсутствие в горных образовательных учреждениях обучения по основам технологии кислорода.

Введение всего цианида натрия в стадии окомкования мелкодробленой руды, наклороживание цианидных растворов и «поршневой» режим орошения являются основными факторами скоростного КВ золота, сокращающими продолжительность процесса в 3–4 раза и способствующими повышению концентрации цианида золота в продукционных растворах.

Принцип активации цианидных растворов. Исследованиями по физико-химической и электро-фото-активации растворов, в частности, по отношению к цианидным растворам, применяемыми при КВ золота за рубежом и в РФ [4–12], доказано повышение извлечения золота до 15 % и более. Ориентировочный удельный расход электроэнергии на электро-фотоактивацию растворов при цене 47,13 р за 1квт/час невелик и составляет порядка 250–300 р/т. Активация цианидных растворов при КВ золота направлена на более глубокое извлечение дисперсного и упорного золота из минерального горнорудного сырья.

Таблица 1

Расчет перфорации в крайних распределителях 1 и 3**Calculation of the perforation in the outermost distributors 1 and 3**

Расстояние до истекающего патрубка, м	Скорость истечения рас- твора v , м/с	Напор в патрубках, м	Площадь сече- ния патрубка	Число отвер- стий на 1 п.м
0	2,359	2,09525	0,9786	0,866
5	2,123	1,82916	1,0436	0,923
10	1,887	1,62121	1,1036	0,976
15	1,651	1,46432	1,1553	1,022
20	1,415	1,35140	1,1961	1,058
25	1,180	1,27534	1,2250	1,084
30	0,944	1,22907	1,2424	1,099
35	0,708	1,20550	1,2505	1,106
40	0,472	1,19752	1,2525	1,108
45	0,236	1,19805	1,2518	1,107
50	0	1,2		

Таблица 2

Расчет перфорации в центральном распределителе 2**Calculation of the perforation in the outermost distributors 1 and 2**

Расстояние до истекающего патрубка, м	Скорость истечения рас- твора, м/с	Напор в патрубках, м	Площадь сече- ния патрубка, см ²	Число отвер- стий на 1 п.м
0	2,359	3,29525	0,7708	0,682
5	2,123	3,02916	0,8015	0,709
10	1,887	2,82121	0,8277	0,732
15	1,651	2,66432	0,8488	0,751
20	1,415	2,55140	0,8646	0,765
25	1,180	2,47534	0,8753	0,774
30	0,944	2,42907	0,8816	0,780
35	0,708	2,40550	0,8845	0,782
40	0,472	2,39752	0,8852	0,783
45	0,236	2,39805	0,89	0,84
50	0,000	1,2		

Таблица 3

Расчет перепада давлений в подводющем распределителе 4**Calculation of the perforation in the outermost distributors 1 and 4**

Расстояние до истекаю- щего патрубка, м	Скорость истечения рас- твора, v , м/с	Напор в патрубке, м
0	3,145	5,381
25	3,145	3,218

Совместное использование приведенных выше принципов повышения реакционной способности цианидных растворов: введения всего цианида натрия в стадии окомкования мелкодробленой руды, накислоороживания цианидных растворов, “поршневого” режима орошения и электро-фотоактивации положено в основу скоростного активированного КВ золота. Применение вышеописанного метода на установках КВ золота наиболее эффективно при переходе к переработке упорных коренных и неокисленных золотосодержащих кварцевых руд.

Использование скоростного активированного КВ золота из техногенно-трансформированного сульфидного сырья, например, при переработке сульфидсодержащих хвостов свинцовой флотации полиметаллических руд указало на ограниченные возможности этого метода даже в случае измельчения материала до 40–70 мк. При содержаниях золота 6–10 г/т и более, предпочтительно воспользоваться более совершенными методами вскрытия упорного сульфидного минерального сырья, например, предварительным автоклавным окислением, предварительным бактериальным окислением или измельчением в мельницах ультратонкого помола [13–16]. Для последнего, более приемлемого варианта, необходимо обратить внимание на то, что минеральные частицы размером порядка 1–0,5 мк, образующиеся при сверхтонком измельчении, являются кинетически опасными, так как внедряются в плевру легких человека с микрокровоотечениями и вызывают отек легких. По этой причине отходы технологий с использованием ультратонкого помола необходимо своевременно утилизировать или перерабатывать, что связано с дополнительными расходами.

Проблема эффективной переработки упорных золотосодержащих хвостов свинцовой флотации может быть решена с использованием перекиси водорода и окислительного обжига [17–18]. В качестве примера рассмотрим возможную переработку золотосодержащих хвостов свинцовой флотации Новоширокинского рудника. Эти хвосты в основном представлены пиритом и кварцем, поэтому правильнее считать их попутно получаемым пиритным золотосодержащим флотоконцентратом. Дисперсное золото находится внутри зерен пирита и практически не поддается прямому цианидному выщелачиванию. На уровне лабораторных исследований проведены опыты по классическому и скоростному активированному КВ золота из хвостов свинцовой флотации Новоширокинского рудника и из огарков хвостов после обжига при 750 °С (рис. 3). Расход цианида натрия во всех опытах оставался одинаковым и составлял 12 кг/т. Классический вариант КВ золота с капельным орошением окомкованного хвоста свинцовой флотации проводили раствором с $C_{\text{NaCN}} = 8$ г/л. Как видно из рис. 3, лучшие результаты (кривая 4) получены при скоростном активированном КВ золота из обожженного хвоста свинцовой флотации. При этом степень извлечения золота в производственный раствор составляла 92–94 %. Отличием схемы переработки с использованием обжига и последующего скоростного активированного КВ золота являлось более полное вовлечение в производство золотосодержащего минерального сырья – пиритного флотационного концентрата, который фактически является пиритным концентратом. При этом из-за незначительного содержания в нем цинка, свинца, мышьяка, сурьмы и других вредных компонентов обжиг

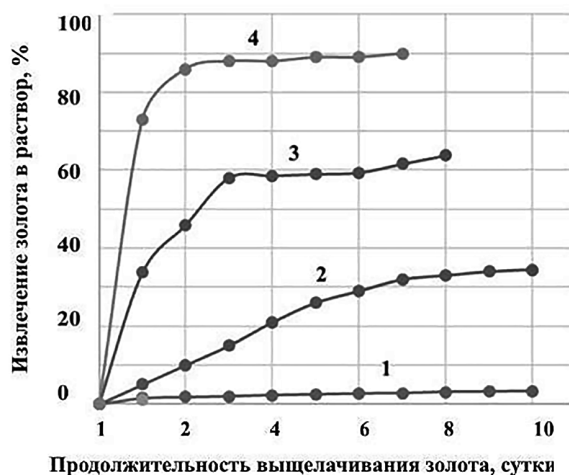


Рис. 3. Зависимость степени извлечения золота от продолжительности: 1 – моделирование классического КВ золота с капельным орошением необоженного хвоста свинцовой флотации; 2 – моделирование скоростного активационного КВ золота с “поршневым” орошением необоженного хвоста свинцовой флотации; 3 – моделирование скоростного КВ золота с “поршневым” орошением обожженного хвоста свинцовой флотации; 4 – моделирование скоростного активационного КВ золота с “поршневым” орошением обожженного хвоста свинцовой флотации

Fig. 3. dependence of the degree of gold recovery on the duration: 1 – simulation of the classical KV gold with drip irrigation unfired tail lead flotation; 2 – modeling of high-speed active KV gold “piston” irrigation unfired tail lead-acid-howl flotation; 3 – simulation of high-speed KV gold “piston” irrigation-tion annealed tail lead flotation; 4 – modeling of high-speed activation of KV gold “piston” irrigation annealed pig tail-covoy flotation

его при соблюдении соответствующих условий не представляет опасности для окружающей среды и людей. Образующийся при обжиге сернистый газ при этом должен утилизироваться с получением серной кислоты.

Обжиг пиритных флотационных концентратов с получением серной кислоты с использованием котлов утилизаторов из нержавеющей стали является стандартной экологически обоснованной и экономически эффективной технологией химического неорганического синтеза и применяется в Японии, в США и других странах.

Выводы

Для реализации эффективной переработки из упорных бедных золото-содержащих кварцевых руд и минеральных промпродуктов необходимо использовать скоростное активированное КВ золота, соблюдая ряд основных принципов, обеспечивающих достижение его высокой эффективности. В случае упорного сульфидного минерального сырья достичь высоких показателей КВ золота возможно после дополнительной операции вскрытия сульфидных минералов, например, после сульфатизирующего обжига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плаксин И. Н. Гидрометаллургия // И. Н. Плаксин. – М.: Наука, 1972. – 278 с.
2. Секисов А. Г., Лавров А. Ю., Рассказова А. В.. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии. Забайкальский государственный ун-т – Чита: ЗабГУ, 2018. – 306 с.

3. *Sekisov A.* Cluster chemical reactions at mineral-liquid interface in metal leaching by photo-electroactive water-and-gas emulsions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, No. 53, pp. 1–4.
4. *Petersen J.* Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores – a brief overview // Hydrometallurgy. 2015. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.09.001.
5. *Гурин К. К., Башлыкова Т. В., Ананьев П. П., Бобоев И. Р., Горбунов Е. П.* Извлечение золота из хвостов золотоизвлекательной фабрики от переработки упорных руд смешанного типа // Цветные металлы. 2013. № 5. С. 39–44.
6. *Шумилова Л. В.* Гравитационно-электрохимический способ извлечения золота из техногенных россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. № 5 (специальный выпуск 19). – С. 186–192.
7. *Аренс В. Ж., Шумилова Л. В., Фазлуллин М. И., Чхейн Г. Х.* Перспективные направления химической и микробиологической переработки минерального сырья цветных и благородных металлов // Metallurg. – 2017. – № 9 – С. 82–89.
8. *Захаров Б. А., Шнейерсон Я. М., Чугаев А. В.* и др. Разработка технологии автоклавной переработки концентратов и промышленной продукции Олимпиаденского ГОКа ЗАО «Полус» // Золото и технологии. – № 3. – С. 24–28. 2013.
9. *Михайлов Б. К., Седельникова Г. В., Беневольский Б. И., Романчук А. И.* инновационные технологии переработки стойких и бедных золотых руд как основа рационального недропользования // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 5–8.
10. *Мазманян Г. А., Брагин В. И.* Повышение извлечения металла из особо упорных золотосульфидных руд. Инновационные процессы комплексной и глубокой Переработки минерального сырья. Томск, 16–19 сентября 2013 г.
11. *Bobadilla-Fazzini R., Perez A. G., Gautier V., Jordan H., Parada P.* Hydrometallurgy (Hydrometallurgy), 2017, vol. 168, pp.
12. *Шумилова Л. В., Хатькова А. Н., Мязин В. П., Лесков А. С.* Круглогодичное кучное выщелачивание благородных металлов в криолитозоне. Москва, Metallurg. 2020 №10. С. 57–65.
13. *Аксенов А. В., Васильев А. А., Охотин В. Н., Швеиц А. А.* Применение ультратонкого измельчения при переработке минерального сырья. Известия вузов. Цветная металлургия. 2014;(2): С. 20–25.
14. *Комогорцев Б. В., Вареничев А. А.*, Проблема переработки бедных и упорных золотосодержащих руд. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 204–218.
15. *Чантурия, В. А., Козлов, А. П., Чекушина, Т. В.* Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017) Материалы Международной научной конференции Красноярск, 12–15 сентября 2017 г. с. 255–258.
16. Патент РФ № 2721107. 2020–05–15. Электролизер. *Морозов Ю. П., Чантурия В. А., Апакашев Р.А., Евграфова Е. Л., Шевченко А. С.*
17. *Шумилова Л. В.* Способ интенсификации кучного выщелачивания золота с использованием реагентного комплекса, включающего перекись водорода. Москва, Metallurg. 2020 №7. С. 60–69.
18. *Isarain-Chavez, E., Cabot, P. L., Centrellas, F., Rodriguez, R. M., Arias, C., Garrido, J. A.* Electro-Fenton and photoelectro-Fenton degradations of the drug beta-blocker propranolol using a Pt anode: identification and evolution of oxidation products. Journal of Hazardous Materials, 2011, 185, 1228–1235. **PLACS**

REFERENCES

1. Plaksin I. N. *Gidrometallurgiya* [Hydrometallurgy]. Moscow: Nauka, 1972. 278 p. [In Russ]

2. Sekisov A. G., Lavrov A. Yu., Rasskazova A. V. *Fotohimicheskie i elektrohimicheskie processy v geotekhnologii* [Photochemical and electrochemical processes in Geotechnology]. Zabajkal'skij gosudarstvennyj un-t Chita: ZabGU, 2018. 306 p. [In Russ]
3. Sekisov A. Cluster chemical reactions at mineral-liquid interface in metal leaching by photo-electroactive water-and-gas emulsions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, no. 53, pp. 1–4.
4. Petersen J. Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores a brief overview. *Hydrometallurgy*. 2015. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.09.001.
5. Gurin K. K., Bashlykova T. V., Anan'ev P. P., Boboev I. R., Gorbunov E. P. Extraction of gold from tailings gold processing plant from processing refractory ore of mixed type. *Cvetnye metally*. 2013. no. 5. pp. 39–44. [In Russ]
6. Shumilova L. V. Gravitational-electrochemical method for extracting gold from technogenic placers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no. 5 (special'nyj vypusk 19). pp. 186–192. [In Russ]
7. Arens V. Zh., Shumilova L. V., Fazlullin M. I., Chkheyan G. H. Perspective directions of chemical and microbiological processing of mineral raw materials of non-ferrous and noble metals. *Metallurg*. 2017. no. 9. pp. 82–89. [In Russ]
8. Zaharov B. A., Shneerson Ya. M., Chugaev A. V. i dr. Development of technology for autoclave processing of concentrates and industrial products of the Olympiadnensky GOK of Polyus CJSC. *Zoloto i tekhnologii*. 2013. no. 3. pp. 24–28. [In Russ]
9. Mihajlov B. K., Sedel'nikova G. V., Benevol'skij B. I., Romanchuk A. I. Innovative technologies for processing persistent and poor gold ores as a basis for rational subsoil use. *Rudy i metally*. 2014. no. 1. pp. 5–8. [In Russ]
10. Mazmanyayn G. A., Bragin V. I. *Povyshenie izvlecheniya metalla iz osobo upornyh zolotosul'fidnyh rud. Innovacionnye processy kompleksnoj i glubokoj Pererabotki mineral'nogo syr'ya* [The increase in the extraction of metals from a particularly persistent gold-sulfide ores. Innovative processes complex and deep processings mineral raw material]. Tomsk, 16–19 sentyabrya 2013 g. [In Russ]
11. Bobadilla-Fazzini R., Perez A. G., Gautier V., Jordan H., Parada P. *Hydrometallurgy*, 2017, vol. 168.
12. Shumilova L. V., Hat'kova A. N., Myazin V. P., Leskov A. S. Year-Round heap leaching of noble metals in cryolithic zone. *Metallurg*. 2020 no.10. pp. 57–65. [In Russ]
13. Aksenov A. V., Vasil'ev A. A., Ohotin V. N., Shvec A. A. Application of ultra-fine grinding in the processing of mineral raw materials. *Izvestiya vuzov. Cvetnaya metallurgiya*. 2014;(2): pp. 20–25. [In Russ]
14. Komogorcev B. V., Varenichev A. A., *Problema pererabotki bednyh i upornyh zolotosoderzhashchih rud* [Problem of processing poor and persistent gold-bearing ores]. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016. no. 2. pp. 204–218. [In Russ]
15. Chanturiya, V. A., Kozlov, A. P., Chekushina, T. V. *Sovremennye problemy kompleksnoj pererabotki trudnoobogatimyh rud i tekhnogennogo syr'ya (Plaksinskie chteniya 2017)* [Modern problems of complex processing of hard-to-enrich ores and technogenic raw materials (Plaksin readings-2017)]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii Krasnoyarsk*, 12–15 sentyabrya 2017 g. pp. 255–258. [In Russ]
16. *Patent RF no. 2721107*. 2020–05–15. Elektrolizer. Morozov Yu. P., Chanturiya V. A., Apakashev R.A, Evgrafova E. L., Shevchenko A. S. [In Russ]
17. Shumilova L. V. *Sposob intensivifikacii kuchnogo vyshchelachivaniya zolota s ispol'zovaniem reagentnogo kompleksa, vklyuchayushchego perekis' vodoroda* [Method for intensifying heap leaching of gold using a reagent complex including hydrogen peroxide]. Moskva, Metallurg. 2020 no.7. pp. 60–69. [In Russ]

18. Isarain-Chavez, E., Cabot, P. L., Centrellas, F., Rodriguez, R. M., Arias, C., Garrido, J. A. Electro- Fenton and photoelectro-Fenton degradations of the drug beta-blocker propranolol using a Pt anode: identification and evolution of oxidation products. Journal of Hazardous Materials, 2011, 185, 1228–1235. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рубцов Юрий Иванович^{1,2} — д-р техн. наук, профессор кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности, jri.rubtsow@yandex.ru;

*Авдеев Павел Борисович*² — д-р техн. наук, профессор, chita-arb@yandex.ru;

*Черкасов Валерий Георгиевич*² — д-р техн. наук, профессор, cherkasov1948@yandex.ru;

*Лавров Александр Юрьевич*² — канд техн. наук, профессор;

¹ Читинский филиал Института горного дела СО РАН, Чита, Россия;

² Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rubtsov Yu.I.^{1,2}, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of water management, environmental and industrial safety, jri.rubtsow@yandex.ru;

*Avdeev P. A.*², Dr. Sci. (Eng.), Professor, chita-arb@yandex.ru;

Cherkasov V. G., Dr. Sci. (Eng.), Professor, cherkasov1948@yandex.ru;

*Lavrov A. Yu.*², Cand. Sci. (Eng.), Professor.

¹ Chita branch of the IGD SB RAS, Chita, Russia;

² Zabaikalsky state University, Chita, Russia.

Получена редакцией 19.10.2020; получена после рецензии 22.01.2021; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 19.10.2020; received after the review 22.01.2021; accepted for printing 10.02.2021.

