



**ТЕХНОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД “ДЕЛЬМАЧИКСКОГО” МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

К. К. Размахнин, П. А. Василюк

*Институт горного дела им Н. А. Чинакала СО РАН (Читинский филиал),
E-mail: igdranchita@mail.ru, ул. Александрo-Заводская 30, г. Чита 672039, Россия*

Дана оценка проблеме выщелачивания золотосодержащих руд с помощью цианида натрия. Изучены перспективы применения бесцианидных реагентов в процессах гидрометаллургии золота. Определена возможность внедрения бесцианидного, экологически менее опасного по сравнению с цианидом натрия, реагента. Выполнен анализ результатов экспериментальных исследований по сопоставимости показателей выщелачивания золотосодержащих руд с использованием цианида натрия и реагента на основе цианата натрия. Установлены оптимальные параметры реализации технологического процесса извлечения рудного золота с использованием предлагаемого реагента.

Золотосодержащие руды, выщелачивание, бесцианидный реагент, технологические показатели, режим

**TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL FEATURES OF HEAP LEACHING
OF GOLD-BEARING ORES IN THE DELMACHIK DEPOSIT**

K. K. Razmakhnin and P. A. Vasilyuk

*Chita Division of the Chinakal Institute of Mining, Siberian branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: igdranchita@mail.ru, ul. Alexandro-zavodskaya 30, Chita 672039, Russia*

The problem of gold-bearing ore leaching by sodium cyanide is estimated. The prospects of using cyanide-free reagents in the processes of gold hydrometallurgy are studied. The possibility of introducing a cyanide-free reagent which is less environmentally hazardous than sodium cyanide is determined. The results of experimental studies on the comparability of leaching indices of gold-bearing ores using sodium cyanide and a reagent based on sodium cyanate are analyzed. The optimal parameters for the implementation of the technological process of ore gold recovery using the proposed reagent are found.

Gold-bearing ores, leaching, cyanide-free reagent, process parameters, mode

В настоящее время развитие процессов кучного выщелачивания золота определяется, в первую очередь, повышением эффективности извлечения ценных компонентов в продуктивные растворы, достигаемым за счет применения геотехнологических приемов и операций с учетом особенностей минерального сырья, климатических и экологических факторов. При этом гидрометаллургическая переработка золотосодержащих руд, техногенного минерального сырья, а также глубокозалегающих россыпей осуществляется, как правило, с использованием цианида натрия, что обуславливает необходимость особого экологического мониторинга за состоянием окружающей природной среды в районе ведения горных работ. Известно, что наибольший

ущерб здоровью человека и окружающей природной среде при реализации процессов кучного выщелачивания с применением цианида натрия может быть нанесен при образовании паров синильной кислоты, фильтрации растворов реагента в почву, а также в грунтовые и поверхностные воды [1]. В этой связи возникает острая необходимость максимального снижения возможных негативных последствий от использования цианида натрия в технологиях гидрометаллургической переработки. Минимизация воздействия на компоненты природной среды может быть достигнута за счет применения наименее опасных с экологической точки зрения реагентов для перевода золота в жидкую фазу. При этом для перевода золота в раствор могут быть использованы менее агрессивные вещества, такие как тиоцианат, цианат, гипохлорит и т. д. [1–3].

Необходимо отметить, что перечисленные реагенты не получили широкого промышленного применения как в отечественной золотодобыче, так и за рубежом по причине доступности и эффективности цианида натрия. Данное обстоятельство напоминает возможность широкого использования процесса амальгамации при извлечении золота в недавнем прошлом, применение которого наносило непоправимый вред как человеку, так и окружающей природной среде. Очевидно, что и процесс цианидного кучного выщелачивания в скором будущем канет в лету. При этом особое значение приобретает поиск менее экологически опасных реагентов для выщелачивания золота, технологические свойства которых должны быть сопоставимы с цианидом натрия. В этой связи, выбор технологии и реагента для ее реализации требует учета ряда определяющих факторов, к которым следует отнести такие свойства руды как насыпной и удельный вес, коэффициенты пористости и фильтрации, а также коэффициент разрыхления, содержание золота по классам крупности и др.

Одним из наиболее представительных и перспективных золоторудных месторождений Дальнего Востока является месторождение “Дельмачикское”, расположенное в Забайкальском крае. Дифрактометрический анализ показал, что основные минералы, слагающие руды данного месторождения, представлены кварцем, полевыми шпатами, комплексом глинисто-сланцевых минералов, пиритом и арсенопиритом.

Проведенные экспериментальные исследования были нацелены, в первую очередь, на изучение факторов, влияющих на эффективность извлечения золота из руд, а также на определение параметров ведения гидрометаллургического процесса.

Исследование процесса выщелачивания золота из окисленных руд “Дельмачикского” месторождения проводилось в лабораторных условиях с применением бутылочного способа и двух реагентов: цианида натрия NaCN и горно-обогачительного реагента производства КНР (“Реагент”), основой которого является цианат натрия. Научный эксперимент осуществлялся при следующих параметрах: цианирование руды при крупности – 10 мм, концентрация NaCN — 1 г/л, масса 3 кг, плотность 50 % твердого, рН 10–10.5, время агитации 72 ч, контроль параметров через 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 60 ч и по окончании исследований, выщелачивание руды с применением “Реагента” при крупности – 10 мм, концентрация комплексобразователя реагента – 1 г/л, масса 3 кг, плотность 50 % твердого, рН 10–10.5; время агитации 72 ч, контроль параметров через 2, 4, 8, 12, 24, 36, 48, 60 ч и по окончании эксперимента.

В результате проведенных исследований процесса выщелачивания с разным комплексобразователем получены показатели по извлечению золота и серебра (табл. 1).

При анализе результатов, полученных при выщелачивании золота из руд “Дельмачикского” месторождения, достигнуты достаточно близкие показатели по извлечению серебра цианидом натрия и “Реагентом” сходимость по извлечению ниже (расхождения по извлечению золота 0.5 %, серебра — 2.5 %). Следует отметить, что при выщелачивании цианидом натрия извлечение по золоту выше на 4.2 % в сравнении с “Реагентом”, расход цианида ниже на 20 %.

ТАБЛИЦА 1. Показатели по извлечению золота и серебра из руд “Дельмачикского” месторождения с применением цианида натрия и реагента производства КНР, %

Реагент	Извлечение Au	Извлечение Ag
Цианид натрия (NaCN)	77.24	52.30
Реагент производства КНР	73.49	52.37

Для определения эффективности применения бесцианидного реагента производства КНР для выщелачивания золота из руд месторождения “Дельмачикского” проведены исследования в перколяционных колоннах с применением “Реагента” на основе цианата натрия с соблюдением следующих параметров: отношение Ж : Т = 1.55; концентрация бесцианидного реагента – 0.5 г/л, рН раствора 10.5 – 11.5, сорбент — активированный уголь.

Руда загружалась в перколяционную колонну порционно с целью предотвращения ее сегрегации по классам крупности, при этом скорость подачи выщелачивающего раствора составляла 4.1 мл/мин с перманентным наблюдением за состоянием поверхности руды в колонне, что обеспечивало равномерность орошения минерального сырья. В процессе исследований контролировались разжижение, содержание золота в растворе, а также водородный показатель рН и остаточная концентрация реагента в продуктивном растворе. Продолжительность выщелачивания руды зависела от показателя концентрации золота в продуктивном растворе и его снижении ниже уровня 0.05 мг/л. Основные условия и результаты исследований по выщелачиванию руды “Дельмачикского” месторождения представлены в табл. 2.

Полученные экспериментальные данные позволили установить возможность переработки окисленной золотосодержащей руды “Дельмачикского” месторождения методом кучного выщелачивания с использованием экологически щадящего реагента производства КНР. При этом извлечение золота в раствор при крупности руды – 10 мм достигает значения 84.0%, а содержание золота в кеке выщелачивания составляет 0.38 – 0.41 г/т.

ТАБЛИЦА 2. Результаты проведения исследований по выщелачиванию руды “Дельмачикского” месторождения в перколяционных колоннах

Параметры эксперимента	Номер эксперимента						
	1	2	3	4	4/1	5	6
Содержание в исходной руде Au, г/т	0.71	0.86	0.86	0.88	0.92	1.06	1.26
Крупность, мм	+ 25 – 40	– 40	+ 10 – 25	– 10	– 10	– 10	– 10
Добавка СаО, кг/т	—	—	—	—	—	10.77	3
Период исследований, сут	18	36	18	15	41	21	21
Период активного перехода золота в раствор, сут	18	36	18	15	41	18	21
Ж:Т	1.55	2.5	1.02	1.87	3.75	3.43	3.43
Расход выщелачивающего реагента, кг/т	0.6117	0.9552	0.4572	0.7479	1.1264	0.5805	0.8485
Содержание в кеке выщелачивания Au, г/т	н/д	0.31	н/д	—	0.38	0.3	0.41
Извлечение, %	51.9	58.73	43.69	79.5	65.4	84.0	76.1

На основании полученных в результате проведения исследований экспериментальных данных установлено, что изменение крупности окисленной руды “Дельмачикского” месторождения с – 40 мм до – 10 мм приводит к значительному увеличению извлечения золота в продуктивный раствор, что определяет необходимость использования в технологическом процессе материала крупностью – 10 мм. При этом наиболее высокие показатели извлечения золота получены при добавлении извести к исходной руде в пропорции – 10 кг на 1 т руды, что обеспечивает поддержание значения уровня рН растворов выщелачивания не ниже 10,5 в

течении 8 сут с начала орошения, после чего маточный раствор требует реагентного донасыщения. Зависимость извлечения золота от продолжительности выщелачивания при крупности руды – 10 мм и расходе извести 10 кг/т представлена на рис. 1.

В ходе исследований установлено, что активный переход золота в раствор заканчивается (для руды с добавлением извести 10 кг/т и крупностью – 10 мм) по истечении 18 сут выщелачивания, при этом 50 % извлечения достигаются уже на 3 сут, а 80 % извлечения на 11 сут. На основании полученных результатов для процесса выщелачивания золота из руд “Дельмачикского” месторождения с применением “Реагента” определены следующие оптимальные параметры: крупность дробления руды – 10 мм; окомкование руды с расходом извести 10 кг/т; плотность орошения 200 л/(м²·сут) при Ж:Т не ниже 3.5, расход бесцианидного реагента не менее 0.58 кг/т при снижении уровня рН в продуктивном растворе, а также своевременное добавление в орошающий раствор едкого натра для стабилизации уровня рН в пределах 11.

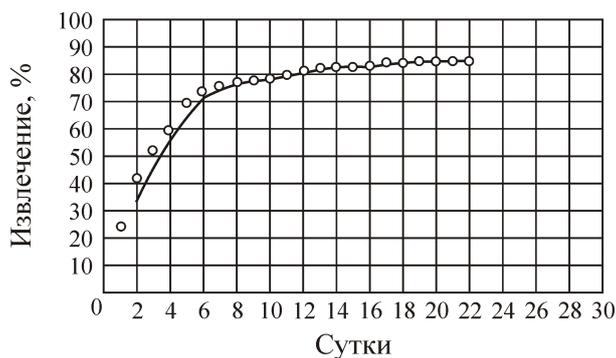


График динамики извлечения золота в раствор при крупности руды – 10 мм и расходе извести 10 кг/т

Проведенные эксперименты позволили разработать технологию гидрометаллургической переработки окисленных руд месторождения “Дельмачикское”, изучить возможность и обосновать эффективность применения экологически щадящего реагента производства КНР при выщелачивании золотосодержащих руд данного месторождения, а также определить основные параметры ведения технологического процесса. Внедрение в производство разработанной технологии и рекомендуемого реагента для выщелачивания золота в комплексе с применением передовых технологий в формировании штабеля, компоновке орошающей сети, предотвращении фильтрации растворов выщелачивания в поверхностные и грунтовые воды, позволит существенно снизить негативное воздействие на здоровье человека и компоненты природной среды.

ВЫВОДЫ

При проведении экспериментальных исследований установлено, что золотосодержащие руды “Дельмачикского” месторождения могут быть эффективно переработаны методом кучного выщелачивания с применением реагента на основе цианата натрия взамен широко используемого цианда натрия, что позволит снизить негативное воздействие как на человека, так и на компоненты окружающей среды.

Анализ полученных данных позволил определить основные параметры ведения технологического процесса гидрометаллургической переработки золотосодержащих руд с использованием экологически щадящего реагента. При этом снижение экологической нагрузки на окружающую природную среду с сохранением основных показателей переработки золотосодержащих руд “Дельмачикского” месторождения обусловлены эффективностью предлагаемого реагента, а также реализацией разработанной технологии в сочетании с рациональным использованием процессов рудоподготовки, укладки руды в штабель, обеспечением эффективности работы системы орошения, особенно в суровых климатических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Shumilova L. V.** Effective method of hard gold-containing ore preparation to leaching, European Journal of Natural History, Moscow, RANS, 2012, vol. 6, pp. 60–61. [**Шумилова Л. В.** Эффективный способ подготовки твердых золотосодержащих руд к выщелачиванию // Европейский журнал естествознания. — 2012. — Вып. 6. — С. 60–61.]
2. **Naumov V. A., Naumova O. B., and Osovetskiy V. M.** Transforming the leaching of gold ore, Modern problems of science and education, Moscow, RANS, 2013, vol. 6, pp. 32–43. [**Наумов В. А., Наумова О. Б., Осовецкий В. М.** Трансформация выщелачивания золотосодержащих руд // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 6. — С. 32–43.]
3. **Lobanov V. G. and Timofeev E. I.** Development and Introduction of Contemporary Technology of Gold Cyanide Leaching From Gravitational Concentrates, Metallurgist, 2017, pp. 491–497 [**Лобанов В. Г., Тимофеев Е. И.** Разработка и внедрение современной технологии выщелачивания цианида золота из гравитационных концентратов // Metallurg. — 2017. — С. 491–497.]