

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИАНСОДЕРЖАЩЕГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОКИСЛЕННЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

А.З. Исагулов, А.К. Турсунбаева, Д.Г. Акимбаева, В.С. Портнов

Карагандинский государственный технический университет  
Бульвар Мира, 56, Караганда, Казахстан, 100027

Показана возможность применения цианосодержащего соединения, полученного из отходов фосфорной промышленности, для выщелачивания окисленных золотосодержащих руд.

Кучное выщелачивание с применением цианирования экономично и пригодно при переработке самородных силикатных и карбонатных золотосодержащих руд [1; 2]. К таким рудам прежде всего относится золотосодержащая руда окисленной зоны Васильковского месторождения (г. Кокшетау, Казахстан).

Руда месторождения характеризуется как силикатная со значительным содержанием глинозема. Основными составляющими являются альбит  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  и микроклин  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ . Также присутствуют кварц  $\text{SiO}_2$ , каолинит  $\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ , биотит  $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{OH},\text{F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ . Преобладающими рудными минералами являются гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ , халькозин  $\text{Cu}_2\text{S}$ , висмутин  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ , висмут  $\text{Bi}$ , которые присутствуют в пробе в виде взаимных смешанных гелей, претерпевших лишь частично собирательную перекристаллизацию. Золото в руде в основном находится в самородном виде — 43,75% (рис. 1а), в сростках — 37,50% (рис. 1б), в карбонатах и покрытое пленками — 3,12%, в сульфидах — 6,25%, в кварце и пустой породе — 9,38% (рис. 1в).

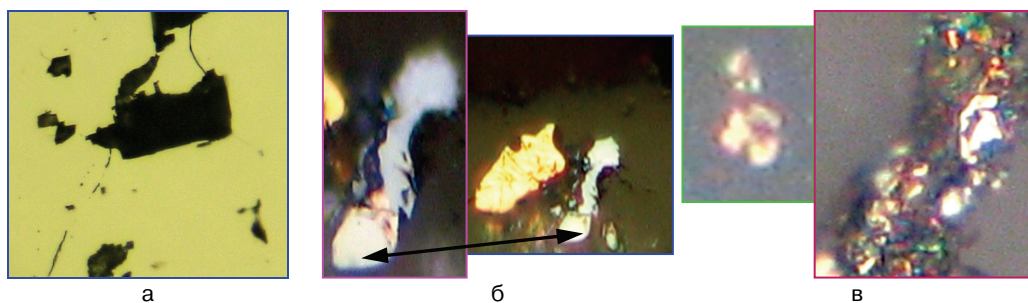
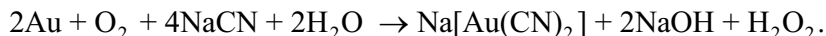


Рис. 1. Нахождение золота в руде:

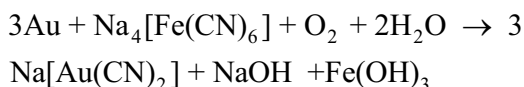
а — в самородном виде; б — в сростках; в — в кварце

Проведенные исследования на рудах Васильковского месторождения показали, что наиболее эффективным растворителем золота считаются цианистые растворы щелочных металлов.

В Казахстане цианосодержащие соединения получают путем утилизации отходов фосфорной промышленности. Цианосодержащее соединение, полученное из твердой фазы котельного «молока», в составе которого присутствуют фосфаты, гексацианоферраты (II, III) и цианид натрия, может применяться в качестве растворителя золота. Его использование в гидрометаллургии благородных металлов обусловлено свойством растворять золото в присутствии кислорода при комнатной температуре [3]:



Гексацианоферраты (II и III) натрия, присутствующие в полученном продукте, также способны растворять золото по следующей реакции [4]:



Таким образом, существует принципиальная возможность применения этого цианосодержащего реагента для выщелачивания золота из руд.

Каждый тип руды имеет свои особенности, обусловленные определенным химическим и фазовым составом. Основными параметрами, влияющими на извлечение целевого металла в раствор при кучном выщелачивании, являются концентрация растворителя, плотность орошения и пауза между орошениями [5]. Предварительно экспериментальным путем, перколяционным выщелачиванием руды определены оптимальные параметры процесса выщелачивания руд с использованием нового цианосодержащего реагента.

Перколяционное выщелачивание является моделью кучного выщелачивания в лабораторных условиях. Лабораторный перколятор (рис. 2) представляет собой цилиндр из органического стекла или винилпласта диаметром не менее 150 мм и высотой 1,5–2,0 м с коническим дном. Внутри перколятора имеется ложное (перфорированное) дно, ниже которого оно переходит в конус с патрубком и краном, со слоем легко проницаемой для раствора тканью из синтетических материалов. У перколяторов также имеются полиэтиленовые сосуды для сбора растворов после орошения.

В процессе исследований после каждого орошения образующийся золотосодержащий продуктивный раствор проверяли на содержание золота, остаточного цианида и определяли значения pH среды.

При использовании цианида натрия концентрация  $\text{CN}^-$  в растворе составляет  $0,4 \text{ г/дм}^3$ , поэтому изучение влияния плотности орошения

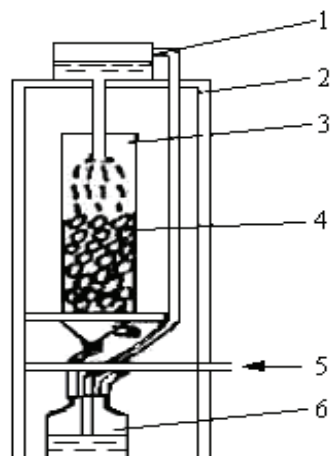
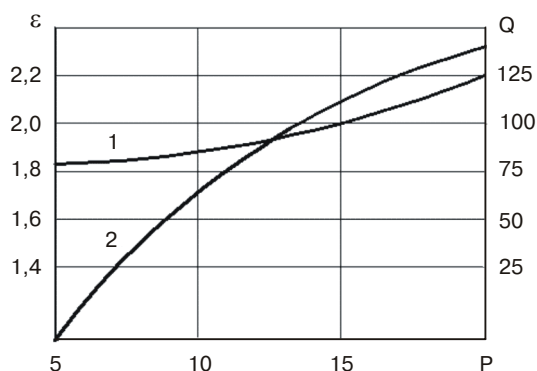


Рис. 2. Установка для перколяционного выщелачивания руды:

- 1 — емкость орошающих растворов;
- 2 — рама; 3 — перколятор;
- 4 — руда; 5 — воздухопровод;
- 6 — сборная емкость

на выщелачивание золота из руды при применении цианосодержащего реагента проводили при односуточной паузе орошения и постоянной концентрации цианида в подаваемом растворе  $0,4 \text{ г/дм}^3$ . Плотность орошения ( $P$ ,  $\text{дм}^3/\text{т}$  руды) изменяли от 5 до  $20 \text{ дм}^3/\text{т}$  руды.

Проведенные расчеты [6] показали, что с повышением плотности орошения скорость растворения золота, общее извлечение ( $\varepsilon_{\text{Au}}$ , %) и удельный расход цианида ( $Q_{\text{NaCN}}$ ,  $\text{г/г Au}$ ) при одинаковом числе орошений увеличивается (рис. 3), концентрация же золота в растворе после выщелачивания, наоборот, снижается.

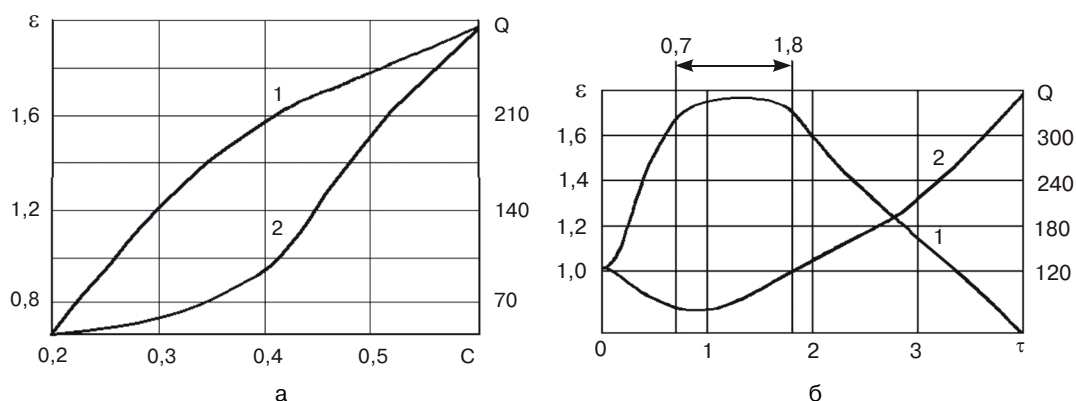


**Рис. 3.** Зависимость извлечения золота (1) и удельного расхода цианида (2) за одно орошение от плотности орошения

Так, при плотности орошения  $20 \text{ дм}^3/\text{т}$  руды извлечение металла составляет 2,3%, это примерно в 2 раза больше, чем при плотности орошения  $5 \text{ дм}^3/\text{т}$  руды, а концентрация золота в полученном растворе в 2 раза ниже. Выщелачивание при высоких плотностях орошения и, следовательно, при низких концентрациях золота и примесей снижает диффузионное сопротивление на границе раздела фаз Т — Ж, способствуя увеличению растворения не только золота, но и элементов пустой породы. Высокое среднее извлечение золота за одно орошение  $1,8 \text{ г}$  золота достигается при плотности орошения  $10 \text{ дм}^3/\text{т}$  руды.

Изучение влияния концентрации цианида на перколяционное выщелачивание руды проводили растворами цианосодержащего соединения, содержащими от  $0,2$  до  $0,6 \text{ г/дм}^3$  цианида, при плотности орошения  $10 \text{ дм}^3/\text{т}$  и паузе орошения 1 сутки. Установлено, что скорость растворения золота, степень извлечения металла за одно орошение, концентрация металла в растворе и удельный расход цианида с повышением концентрации используемого раствора цианида натрия ( $C_{\text{NaCN}}$ ,  $\text{г/г Au}$ ) увеличиваются (рис. 4а). Однако при концентрации цианида  $0,6 \text{ г/дм}^3$  его удельный расход на извлечение  $1 \text{ г}$  золота почти в 3,5 раза выше, чем при содержании цианида в орошающем растворе  $0,2$ — $0,4 \text{ г/дм}^3$ . Учитывая последнее, оптимальной следует считать концентрацию цианистого раствора  $0,4 \text{ г/дм}^3$ .

Влияние пауз орошения ( $\tau$ , сут) на извлечение золота изучали с помощью раствора, приготовленного на основе цианидсодержащего соединения, содержащего 0,4 г/дм<sup>3</sup> цианида, при плотности орошения 10 дм<sup>3</sup>/т руды при этом паузу орошения изменяли от 4 до 0 суток. Установлено, что максимальному извлечению золота 1,8% соответствует пауза между орошениями 0,7—1,8 суток (рис. 4б). В соответствии с технологией извлечения золота в промышленных условиях оптимальной паузой орошения следует считать одни сутки. Увеличение паузы орошения приводит к чрезмерному расходу реагента, который, в свою очередь, на выход металла не влияет.



**Рис. 4.** Зависимость извлечения золота (1) и удельного расхода цианида (2) за одно орошение от концентрации цианида натрия от концентрации цианида натрия (а) и продолжительности паузы между орошениями (б)

Таким образом, по результатам исследований установлено, что максимальное извлечение золота новым реагентом цианирования при минимальном расходе цианида из окисленной золотосодержащей руды достигается при односуточной паузе между орошениями, плотности орошения 10 дм<sup>3</sup>/т руды и концентрации цианида в растворе цианосодержащего соединения 0,4 г/дм<sup>3</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пыжов С.С. и др. Кучное выщелачивание золотосодержащих руд за рубежом // Цвет. металлы. — 1984. — № 11. — С. 25—28.
- [2] Parkhurst D. The heap leach-carbon adsorption method for processing gold ores // California mining. — 1982. — Vol. 51. — № 10. — P. 34—42.
- [3] Андреев И.И. К вопросу о растворении золота в цианистых растворах // Известие Санкт-Петербургского политехнического института. — 1998. — Т. 9. — С. 447—485.
- [4] Костромина Н.А. Химия координационных соединений. — М.: Высшая школа, 1990.
- [5] Зеликман А.Н. и др. Теория гидрометаллургических процессов. — М.: Металлургия, 1983.
- [6] Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. — М.: Недра, 1989.
- [7] Хабиров В.В., Забельский В.К., Воробьев А.Е. Прогрессивные технологии добычи и переработки золотосодержащего сырья / Под ред. Н.П. Лаверова. — М.: Недра, 1994.
- [8] Бубнов В.К., Спириг Э.К., Воробьев А.Е. и др. Теория и практика добычи полезных ископаемых для комбинированных способов выщелачивания. — Целиноград: Жана-Арка, 1992.

- [9] Бубнов В.К., Воробьев А.Е., Чекушина Т.В. и др. Актуальные вопросы добычи цветных, редких и благородных металлов. — Акмола: Жана-Арка, 1995.
- [10] Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Геохимия золота. Ресурсы и технологии России. — М.: Изд-во РУДН, 2000.
- [11] Воробьев А.Е., Козырев Е.Н., Каргинов К.Г., Ашихмин А.А. Физико-химическая геотехнология золота. — Владикавказ: Ремарко, 2001.

## CYANIDE CONTAINING REAGENT USE FOR GOLD LEACHING OF OXIDATED GOLD CONTAINING ORES

A.Z. Issagulov, A.K. Tursunbaeva, D.G. Akimbaeva, V.S. Portnov

Karaganda State Technical University  
B. Mira, 56, Karaganda, Kazakhstan, 100027

There is a basic opportunity of use of cyanide containing reagent, received from wastes of phosphoric industry, for gold leaching of oxidated gold containing ores.



**Исагулов А.З.**, доктор технических наук, профессор, первый проректор Карагандинского государственного технического университета, автор более 500 научных трудов, в том числе 90 патентов, 10 монографий, 9 учебников, 60 книг и учебных пособий



**Турсунбаева А.К.**, кандидат технических наук, доцент Карагандинского государственного технического университета, автор 30 научных публикаций в области гидрометаллургии цветных металлов, в том числе 5 предпатентов



**Акимбаева Динара Гинаятовна**, магистрант Карагандинского государственного технического университета, автор 6 публикаций



**Портнов В.С.**, доктор технических наук, профессор, начальник учебно-методического управления Карагандинского государственного технического университета, автор более 200 научных трудов, в том числе 2 монографий, 7 авторских свидетельств