

При ведении процесса в оптимальных условиях уверенно достигается полное обеднение растворов, качество цементата резко улучшилось, расход железа сократился в 3–4 раза. На предложенный способ получен патент [7].

В развитие предложенной технологии в дальнейшем намечено изучить возможности повышения эффективности цементации использованием принципиально нового оборудования.

Библиографический список

1. Пат. 2 103 396 Рос. Федерация. МПК С22В 11/00 Способ переработки растворов-промпродуктов аффинажного производства металлов платиновой группы 97101441/02 : заявл. 1997.29.01 : опубл. 1998.27.01 / Насонова В. А., Сидоренко Ю. А. / патентообладатель Насонова В. А., Сидоренко Ю. А.

2. *Голубятникова Л. Г.* Экстракция палладия(II) и золота(III) производными 1Н-1,2,4-триазола и дигидрохлоридом триацилированного пентаэтиленгексамина / спец. 02.00.04 «Физическая химия» : дис. ... канд. хим. наук / Голубятникова Л. Г. : ФГБУН УфИХ РАН. – Уфа, 2017 – 122 с.

3. *Масленицкий И. Н.* Металлургия благородных металлов / И. Н. Масленицкий, Л. Г. Чугаев. – Москва : Metallurgia, 1987. – 431 с.

4. *Меретуков М. А.* Металлургия благородных металлов. Зарубежный опыт / М. А. Меретуков, А. М. Орлов. – Москва : Metallurgia, 1990. – 416 с. – ISBN 5-229-00734-6 (в пер.).

5. Трехмерные электроды в процессах извлечения металлов из промышленных стоков: Обзорная информация ЦНИИЭИ ЦМ. – Москва, 1987. – С. 21–34.

6. Пат. 414322 СССР. МПК С22В 3/22 Способ цементации металлов из растворов 1753829/22-1 : заявл. 1972.02.08 : опубл. 1974.02.05 / Голгер Ю. Я., Израйлевич Э. Г., Шафеев Р. Ш.

7. Пат. 2 755 919 Рос. Федерация. МПК С22В 11/00 Способ извлечения благородных металлов из кислых растворов 2020131766 : заявл. 2020.28.09 : опубл. 2021.22.09 Бюл №27 / Лобанов В. Г., Ермаков А. В., Рябухин Е. А., Скоморохов В. А., Борисенков А. В. / Патентообладатель Акционерное общество «Уральские Инновационные Технологии».

УДК 669.213.4

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ КОНЦЕНТРАТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫМ СПОСОБОМ

**Хабибулина Р. Э., Лобанов В. Г., Колмачихина О. Б.,
Коновалов М. В., Дружинин Д. И.**

Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. Работа посвящена проблеме извлечения золота из минерального сырья (золотосодержащего концентрата) методами, альтернативными традиционному цианированию. Для извлечения золота из гравитационных концентратов

показана возможность использования органических соединений хлора. Важнейшей особенностью рассмотренного способа является экологическая чистота, а также возможность извлечения не только золота, но и металлов платиновой группы. Выбран рациональный способ извлечения золота из полученных технологических растворов. При промышленной проверке предложенной технологии достигнуто удовлетворительное извлечение золота в раствор и в товарный продукт.

Ключевые слова: золото, выщелачивание, хлорорганическое соединение, гравитационный концентрат, цементация.

Введение

В современном мире золото используют не только в ювелирных украшениях, оно является средством вложения и хранения капиталов, символом личного достатка и богатства и, конечно же, показателем экономической стабильности любой страны.

Промышленная золотодобыча преимущественно сконцентрирована на извлечении драгоценного металла как из коренных руд, так и из россыпей.

Металлургия драгоценных металлов, основанная на использовании гравитационных методов – одна из древнейших в числе известных человеку. Гидрометаллургические технологии, суть которых заключается в выщелачивании золота из руд цианистыми растворами, используется уже 200 лет. Поиск технологий, альтернативных цианированию, проводится все это время, и с каждым годом актуальность подобных исследований возрастает.

Выщелачивание золота хлорорганическим соединением

Благородные металлы характеризуются высокой плотностью, намного превышающей плотность минералов вмещающей породы. Поэтому для извлечения самородного золота из руд эффективны гравитационные процессы. Получаемые гравитационные концентраты, требуют дальнейшей доводки с целью извлечения золота в продукт, пригодный для сдачи на аффинажный завод или для плавки на слиток. На данной стадии производства чаще всего используют концентрационные столы. В результате получают богатый по золоту материал (содержание Au более 50 %) и бедный продукт, называемый хвостами перечистки (содержание Au 300–500 г/т). Богатый материал поступает на следующую стадию – аффинаж, а бедный – на выщелачивание полезного компонента [1–3].

Самым распространенным методом для выщелачивания золота из руд и концентратов является цианирование, которое основано на использовании раствора, содержащего цианид натрия в качестве комплексона и растворенного кислорода в качестве окислителя. Исключительная токсичность цианидов является причиной многолетнего поиска альтернативных реагентов, выщелачивающих золото [4; 5].

Известны способы и системы для выщелачивания золота, включающие предварительное закисление руды раствором соляной кислоты и последующее выщелачивание золота солянокислыми растворами, включающими галит и молекулярный хлор, поверхностно-активное вещество и гипохлорит, соляную кислоту, гипохлориты натрия, калия или кальция, водный раствор хлорноватистой кислоты [6].

Определенные экологические и экономические преимущества при выщелачивании золота из концентратов дает использование системы, содержащей хлориды и носитель активного хлора, в качестве которого используют хлоризоцианураты, производные изоциануровой кислоты. По сути изоциануровая кислота является стабилизатором активного хлора. Важнейшей особенностью хлоризоциануратов является их экологическая безопасность, реагенты подобного типа относятся к III классу опасности химических веществ, что является показателем предельно низкой токсикологической опасности реагента [7]. В данной работе изучены некоторые особенности выщелачивания золота из концентратов с использованием хлоризоциануратов.

Объектом исследования в данной работе были хвосты перемалывания золотосодержащего гравитационного концентрата – черный мелкодисперсный порошок (рис. 1), с содержанием 400–450 г/т Au. В составе данного материала также присутствуют железо (50–55 %) и кремний (5–6 %) в виде оксидов, в незначительном количестве оксиды титана, циркония и вольфрама. По предварительным данным, в силу специфики сырья, преимущественная крупность золота в концентрате от 0,1 до 1 мм, что предполагает затянутый характер выщелачивания.



Рис. 1. Исследуемый материал

На первом этапе исследований изучили динамику процесса выщелачивания золота в лабораторных условиях. Навеску концентрата массой 100 г выщелачивали с использованием дихлоризоцианурата. Процесс проводили в слабокислом растворе соляной кислоты с добавлением окислителя (дихлоризоцианурата) в бутылочном реакторе при комнатной

температуре. Ж:Т для лабораторных испытаний составляло 6:1; продолжительность процесса – 30 часов. Пробы пульпы периодически отбирали, фильтровали и анализировали раствор на содержание золота при помощи атомной абсорбции. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

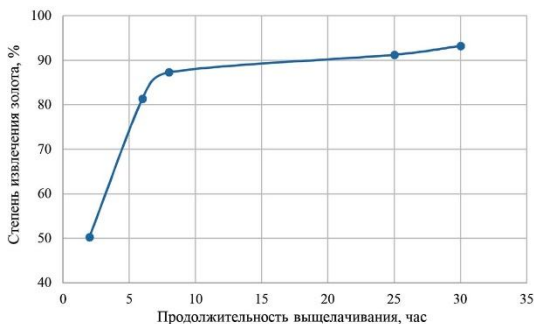


Рис. 2. Результаты лабораторных испытаний: раствор соляной кислоты, Ж:Т = 6:1, $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Полученные результаты показали, что основная часть золота переходит в раствор в первые 10 ч процесса, что является признаком наличия в материале мелкодисперсного золота. При этом содержание золота в хвостах выщелачивания составило 30 г/т. Таким образом, извлечение золота в раствор превысило 93 %. Причины неполного растворения золота изучаются.

На втором этапе исследований, с учетом полученных лабораторных результатов, провели укрупненный эксперимент в заводских условиях. Выщелачивание проводили в реакторе консольного типа с умеренным перемешиванием. Масса загруженного в реактор материала составила 50 кг; Ж:Т = 2:1. Пробы отбирали 2 раза в сутки, ночью перемешивание пульпы не проводили. На основании полученных данных построили зависимость извлечения золота в раствор от продолжительности процесса (рис. 3).

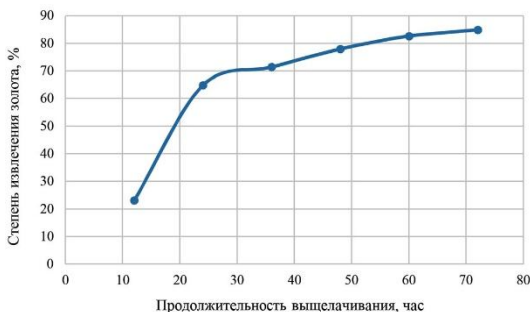


Рис. 3. Результаты укрупненного эксперимента: раствор соляной кислоты, Ж:Т = 2:1, $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Неотъемлемым преимуществом процесса с использованием хлорорганического соединения является технологически простые методы извлечения растворенного золота из кислых продуктивных растворов. К ним относятся: цементация железом, алюминием или цинком, реагентное восстановление, гидролиз или сорбция.

Из полученных растворов провели осаждение золота цементацией на алюминиевую стружку и восстановление солями Fe(II): извлечение из раствора цементацией составило 99 %, а солями железа 98,8 %.

Выводы

1. Производные изоциануровой кислоты позволяют эффективно извлекать золото из минеральных концентратов.
2. Дихлоизоцианурат натрия в сочетании с раствором умеренной кислотности обеспечивает высокую скорость и селективность растворения золота. Технология, основанная на использовании данной выщелачивающей системы, может быть отнесена к категории экологически безопасных.

Библиографический список

1. *Стрижко Л. С.* Металлургия золота и серебра : учеб. пособие / Л. С. Стрижко. – Москва : МИСИС, 2001. – 332 с. – ISBN 5-87623-083-9.
2. ИТ–С 14–2016. Производство драгоценных металлов. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Издательство Бюро НДТ, 2016. – 182 с.
3. *Кляйн С. Э.* Цветная металлургия : учеб. пособие / С. Э. Кляйн, С. В. Карелов, В. И. Деев. – Екатеринбург : УГТУ, 2000. – 137 с. – ISBN 5-230-06564-8.
4. *Масленицкий И. Н.* Металлургия благородных металлов : учеб. пособие / И. Н. Масленицкий, Л. В. Чугаев, В. Ф. Борбат. – Москва : Металлургия, 1987. – 432 с.
5. *Меретуков М. А.* Металлургия благородных металлов зарубежный опыт : учеб. пособие / М. А. Меретуков. – Москва : Металлургия, 1991. – 415 с. – ISBN 5-229-00734-6.
6. *Минеев Г. Г.* Растворители золота и серебра в гидрометаллургии : учеб. пособие / Г. Г. Минеев, А. Ф. Панченко. – Москва : Металлургия, 1994. – 241 с. – ISBN 5-229-01072-X.
7. Стабилизирование хлора циануратами // Аквафрешсистема. – URL : <https://filtravod.ru/miscellaneous/ochistka-vody-v-basseine/cyanurat> (дата обращения: 30.01.2022).