

УДК 622.342.1

## ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТРУДНООБОГАТИМОГО СЫРЬЯ

Гронь В.А., Коростовенко В.В., Капличенко Н.М., Галайко А.В.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: natkapl@mail.ru

В работе рассмотрены наиболее перспективные направления извлечения тонкого золота из руд коры выветривания с высоким содержанием глинистых составляющих. Исследования проводили на ряде растворителей. Наибольший практический интерес представляет известково-серный реагент. Определены технологические параметры выщелачивания перспективных месторождений с извлечением золота до 97-98%.

**Ключевые слова:** глинистые, сырье, благородные металлы, растворители, цианирование, извлечение, выщелачивание

## STUDY OF PROSPECTIVE AND ENVIRONMENTALLY SAFE SOLVENT OF PRECIOUS METALS FOR PROCESSING OF REFRACTORY RAW MATERIAL

Gron V.A., Korostovenko V.V., Kaplichenko N.M., Galaiko A.V.

FSAEI «Siberian Federal University», Krasnoyarsk, e-mail: natkapl@mail.ru

The paper gives the most promising ways of fine gold recovery from ore of weathering crust with high content of clay components. A number of solvents was used in the study. Lime-sulfur reagent was of greatest practical interest. Technological parameters of leaching promising deposits were determined for gold recovery up to 97-98%.

**Keywords:** clay, raw material, precious metals, solvent, cyanide leaching, extraction, leaching

Альтернативные цианистым соединениям реагенты, хорошо зарекомендовавшие при извлечении золота, используются лишь в опытном масштабе. Основными преимуществами цианистых соединений перед другими растворителями золота являются высокая селективность по отношению к благородным металлам, низкий расход реагентов, высокое извлечение золота в раствор и последующее его выделение из цианистых растворов, малая коррозионная активность среды.

При несомненных достоинствах процесс цианирования характеризуется существенными недостатками. Основным технологическим недостатком цианистого процесса является его высокая продолжительность. С точки зрения экологии к недостаткам относится и чрезвычайно высокая токсичность цианидов щелочных металлов и продуктов их взаимодействия с рудами. Для ряда золотодобывающих регионов высокие затраты на природоохранные мероприятия является нерентабельной разработкой перспективных месторождений. Проблема обезвреживания сточных вод обогатительных фабрик до конца не решена.

В настоящее время выявлен достаточно широкий круг растворителей, которые рассматриваются в качестве альтернативы цианистым солям в процессах извлечения золота и серебра из рудного сырья.

Изыскание и оценка новых растворителей благородных металлов производится не только из экологических соображений, но

также преследует и другие цели, например, возможность переработки золото- и серебросодержащих руд (концентратов), трудно поддающихся цианистому выщелачиванию. Применительно к такого типа рудам интерес представляют следующие растворители: тиосульфаты, тиокарбамид, а также известково-серный реагент.

Исследования проводились в лабораторных условиях по растворению благородных металлов из различных типов руд новых месторождений Приангарья, которые состоят из кварц-слюдистых сланцев, а также представлены слюдистыми микрокварцитами и турмолинизированы с жилами кварца.

В исследованных рудах рудные минералы присутствуют в незначительных количествах – от 0,50 до 4,2%. Содержание сульфидов колеблется от 0,2 до 5,0%. В составе сульфидов преобладают пирротин, пирит и марказит, к встречающимся в незначительных количествах относятся халькопирит и арсенопирит, в единичных вкраплениях содержатся сфалерит, висмут, галенит.

Среди оксидов наиболее распространены ильменит и рутил, в меньшей степени магнетит и гематит. Руды практически не несут следов окисления. Среди нерудных минералов преобладают кварц, биотит, мусковит. Минералами-примесями являются графит, циркон, апатит [1].

Химический состав ряда проб свидетельствует о силикатном характере руд (SiO<sub>2</sub> от 66,4 до 81,9%) при незначитель-

ном содержании углекислоты и серы, преобладании калия над натрием.

Содержание примесей не превышает, %: Pb – 0,02; Zn – 0,1; Cu – 0,02; Bi – 0,093; Mn – 0,25. В единичных рудах встречаются As, Mo, W. Особенностью руд служит присутствие висмута в количествах больших, чем количество мышьяка, свинца и меди, при полном отсутствии сурьмы.

Формы включений золота разнообразны. Чаще золото встречается в сростках с кварцем, в отдельных пробах – со слюдой, пиритом, висмутом, а также в глинистых составляющих пробы.

Исследуемые руды представляют собой несколько разновидностей и состоят из рыхлого обломочного материала серовато-бурого цвета. По текстурно-структурным особенностям они полиминеральны и имеют существенное различие по своему составу, размерам обломков и горных пород: от грубообломочной 7-160 мм в поперечнике до пиелитовой с размером частиц менее 0,01 мм.

Количественные соотношения обломков и песчано-глинистой связующей массы в рудах различны и составляют 20-88,5 и 10,5-79% соответственно. Состав обломков горных пород существенно отличается друг от друга. В некоторых пробах присутствуют обломки гранитов, амфиболитов, кристаллических сланцев, диабазов, в незначительном количестве находятся обломки мраморизированных известняков, песчаных кварцитов.

В исследуемом материале преобладают мраморизированные известняки, песчаники, глинистые сланцы, кварциты, в незначительном количестве встречаются корки лимонита. Большинство обломков руд выветрены и на поверхности имеются ячейки, выемки, углубления, заполненные глинистым веществом.

Руды представлены метаморфизованными горными породами, основную часть которых составляют обломки серицитхлоритовых сланцев, а также единичные окатанные обломки жильного кварца. Сланцы избирательно пропитаны лимонитом с наличием корок гематита, тонких кварцевых прожилок, в которых присутствуют скопления лимонита и бурой глины. Отмечаются единичные вкрапления пирита и халькопирита. В рудах присутствуют обломки желто-бурой, красноватой плотной глинистой коры выветривания, сохранившей в отдельных случаях текстурно-структурные особенности первичных сланцев.

Обломочный материал покрыт пленкой глины, пропитанной гидроксидами железа (глинистая рубашка), что придает руде се-

ровато-охряно-бурю окраску. Основным ценным компонентом глинистых пород выступает золото, размер частиц которого составляет 1-10 мкм.

Характерной особенностью сырья является то, что количество золота, находящегося в свободном состоянии, не превышает 5%. В основном оно связано с лимонитом, а также с сильно окисленными сульфидами, образуя включения между гематитом и сланцами [2].

Переработка таких руд на сегодняшний день является актуальной проблемой. Исходя из анализа существующих методов переработки труднообогатимого сырья, исследования проводились с использованием перспективных растворителей благородных металлов на рудах новых месторождений Приангарья, различной крупности, а также некондиционных (гравитационных и флотационных) концентратах обогатительных фабрик.

Тиокарбамидное выщелачивание привлекает наибольшее внимание исследователей. Тиокарбамид (тиомочевина)  $CS(NH_2)_2$  представляет собой кристаллический порошок, хорошо растворимый в воде. Для выщелачивания золота готовят раствор, содержащий 0,5-2%  $CS(NH_2)_2$ ; 1-3%  $H_2SO_4$  и 0,3-0,4%  $Fe_2(SO_4)_3$ . Сульфат оксида железа является окислителем. Руды с заметным содержанием кислоторастворимых минералов перед выщелачиванием тиомочевинной необходимо подвергать кислотной обработке с последующей промывкой водой, иначе эти минералы вызовут повышенный расход тиомочевинной и, перейдя в раствор, замедлят растворение золота. Обработку тиомочевинной проводили при температуре не выше 20-25 °C во избежание чрезмерного разложения растворителя.

Тиомочевинные пульпы отличаются трудной сгущаемостью и фильтруемостью, поэтому при их обработке необходимо использовать полиакриламид и другие флокулянты.

По сравнению с цианированием обработка руд тиомочевинной имеет следующие преимущества: более быстрое выщелачивание золота, меньшая токсичность тиомочевинной и более полное извлечение золота из глинистых руд. Зарубежные исследователи полагают, что тиомочевина как растворитель благородных металлов наиболее перспективна для кучного и подземного выщелачивания.

С преимуществом тиомочевинного выщелачивания имеются недостатки:

- относительно высокая стоимость и дефицитность реагента;
- потребность в кислотостойкой аппаратуре;

– значительный расход кислоты (120-180 кг/т  $H_2SO_4$ );

– разложение (окисление) тиомочевины, что приводит к увеличению расхода этого растворителя, а также отмывки кеков до нейтральной среды.

При использовании тиосульфатных растворов ( $Na_2S_2O_3$  36 г/л; окислитель –  $SiSO_4$  4 г/л; регулятор среды –  $NH_4OH$  10 г/л) присутствие в исходном материале соединений сурьмы, меди, мышьяка и некоторых других минеральных примесей не оказывает заметного депрессирующего влияния на золото при выщелачивании. Для достижения приемлемых показателей извлечения золота в растворы необходимо повышение температуры до 100-130 °С. Извлечение золота в раствор составляет до 95-97%.

Как показали последующие исследования тиосульфатное выщелачивание может быть осуществлено и при более низких температурах за счет значительного разбавления пульпы (до Ж:Т=10:1), увеличение концентрации растворителя или применения к рудам совмещенного процесса: выщелачивание – сорбция золота из пульпы ионообменными смолами. Однако в этих условиях резко возрастают расход реагентов и общие затраты на обработку руды. Указанные обстоятельства существенно затрудняют использование данного растворителя в технологических целях [3].

Одним из направлений совершенствования указанной технологии является использование известково-серного реагента, получаемого путем растворения серы в водной суспензии гидроксида кальция. Реагент нетоксичен и экологически безопасен.

Авторы исследовали труднообогатимые руды приведённого выше состава.

Была изучена возможность извлечения золота раствором известково-серного реагента. Концентрацию серы в растворе изменяли от 12,5 до 100 г/л, а концентрацию гидроксида кальция в водной суспензии, в которой растворяли серу, от 100 до 200 г/л. Процесс выщелачивания проводили при комнатной температуре в течение 24 ч, отношение Ж:Т= 5:1.

Полученные результаты выщелачивания представлены на рис. 1, 2.

Оптимальным составом известково-серного реагента является концентрация серы от 50 до 100 г/л, а концентрация гидроксида кальция от 100 до 200 г/л в зависимости от вида перерабатываемого сырья. Время выщелачивания составило от 6 до 8 ч. При увеличении времени выщелачивания результаты не изменились. Установлено, что извлечение золота в раствор практически не зависит от крупности материала и составляет 97-98%.

Отмывка кеков водой позволяет снизить до минимума потери серы, гидроксида кальция в хвостах и улучшить в целом показатели предлагаемой технологии в экологическом аспекте.

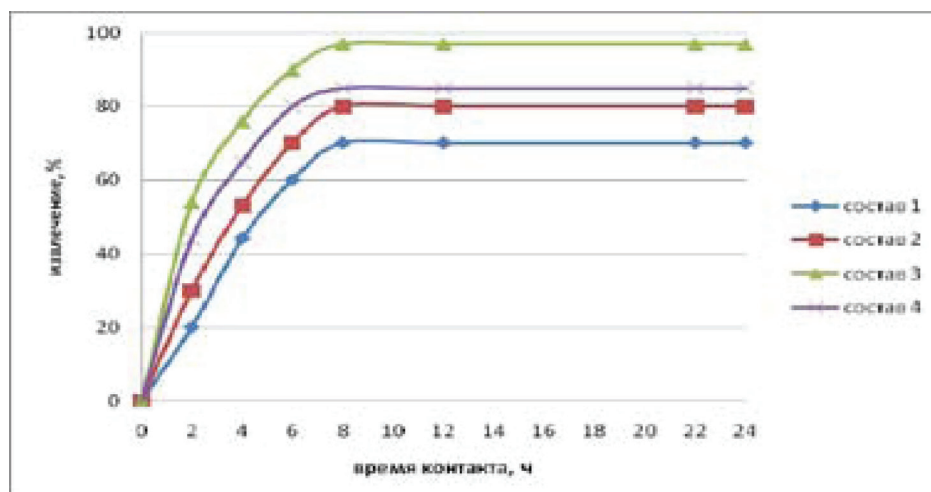


Рис. 1. Зависимость извлечения золота от состава растворов. Состав растворов: 1 – 12,5 г/л S + 100 г/л  $Ca(OH)_2$ ; 2 – 25 г/л S + 100 г/л  $Ca(OH)_2$ ; 3 – 50 г/л S + 100 г/л  $Ca(OH)_2$ ; 4 – 100 г/л S + 100 г/л  $Ca(OH)_2$

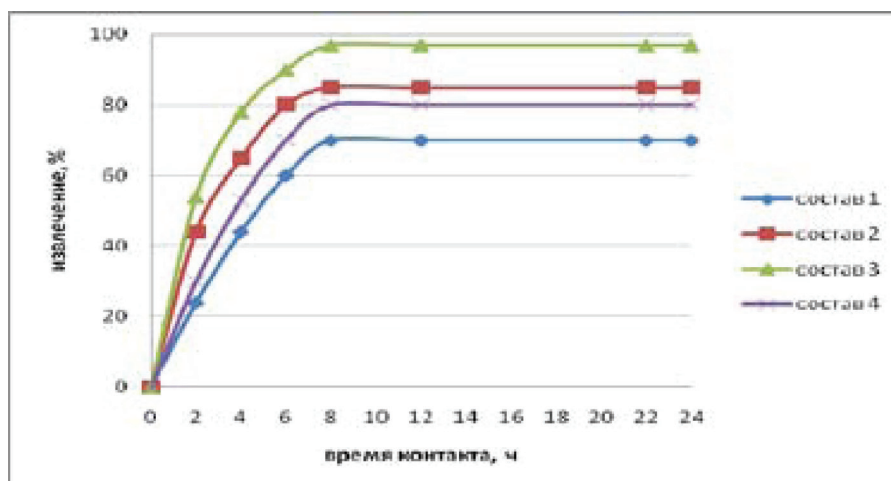


Рис. 2. Зависимость извлечения золота от состава растворов. Состав растворов:  
 1 – 12,5 г/л S + 200 г/л Ca(OH)<sub>2</sub>; 2 – 25 г/л S + 200 г/л Ca(OH)<sub>2</sub>; 3 – 50 г/л S + 200 г/л Ca(OH)<sub>2</sub>;  
 4 – 100 г/л S + 200 г/л Ca(OH)<sub>2</sub>

Данные химического анализа по вещественному составу кеков свидетельствуют об избирательном характере действия реагента на исходную руду. Реагент растворяет золото, не вступая в химическое взаимодействие с другими находящимися в исходной руде элементами (серой, мышьяком, титаном и др.), которые переходят в отвальные кеки.

Результаты анализов показывают, что при содержании элементарной серы в исходной руде до 0,8% ее содержание в отвальных кеках изменяется от 0,14 до 1,14%, составляя в среднем 0,64%, т.е. фактически соответствует содержанию в исходном сырье.

Из этого следует, что в процессе выщелачивания не происходит перехода серы из технологического реагента в виде сульфат-ионов в отвальные кеки. При этом кеки не являются экологически вредными и могут складироваться как некондиционные руды на специально подготовленных площадках [5].

Вывод: предложенная технология выщелачивания золота обладает несомненным преимуществом по сравнению с циантехнологией как в технологическом, так и в экологическом аспектах, поскольку исключает

из процесса переработки руды такой элемент, как складирование и хранение хвостов цианирования, необходимость разработки особых мер безопасности при работе с цианидами. В экологическом плане данная технология не представляет опасности для окружающей среды.

**Список литературы**

1. Коростовенко В.В., Гронь В.А., Капличенко Н.М. Особенности вещественного состава золотосодержащих руд Енисейского и Южно-Енисейского районов и опробование способов их переработки // Цветные металлы-2011: Сб. матер. 3 Междунар. конгр.(Красноярск, 6-10 сент. 2011 г.). – Красноярск, 2011. – С. 255–259..
2. Коростовенко В.В., Гронь В.А., Степанов А.Г. Возможности переработки золотоносного труднообогатимого глинистого сырья // Техника и технология, № 5(7). Красноярск: СФУ. – 2012. – С. 771-776
3. Коростовенко В.В., Гронь В.А., Капличенко Н.М. Изыскание и оценка новых перспективных растворителей благородных металлов из глинистых труднообогатимых песков // Цветные металлы-2012: Сб. матер. 4 Междунар. конгр. – Красноярск, 2012. – С. 255–259.
4. Пат. 1788768 Российская Федерация, МПК С22В3/04. Способ извлечения золота из золотосодержащих продуктов выщелачиванием / В.А. Гронь, 1993.
5. Гронь В.А. Гидрометаллургическая переработка золотосодержащих руд Енисейского и Южно-Енисейского районов // Цветные металлы. 2000. № 8. – С. 113–114.