

УДК 622.7.004.18+622.772

Н.К. Алгебраистова, А.В. Макшанин

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ ТРУДНООБОГАТИМОЙ
РУДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ**

Показана возможность использования процесса агломерационной флокуляции для извлечения золота из убогой малосульфидной руды. Изучено влияние типа носителя, его расхода и износостойкости на эффективность процесса.

Ключевые слова: агломерационная флокуляция, хвосты, ЗИФ, убогая малосульфидная руда.

Россия относится к числу стран с богатейшими природными ресурсами драгоценных металлов и традиционно находится в первом ряду производителей золота и других драгметаллов. Отечественный рынок является экспортно-ориентированным – добываемых драгоценных металлов хватает не только на обеспечение своих нужд, но еще и для довольно массовой продажи другим странам.

Стратегию социально-экономического развития Красноярского края в настоящее время определяют базовые отрасли промышленности, среди которых ведущую роль занимает горнодобывающая. Так, по данным А.А. Гнездилова, в структуре производства промышленной продукции минеральные ресурсы и производимые из них продукты составляют 70–75 % или 48–50 % от валового регионального продукта.

Сырьевая база золота Красноярского края с 1994г. имеет устойчивый отрицательный баланс. Ежегодно погашаемые запасы рудного золота не компенсируются приростом запасов.

Разведанного резерва, с разработанными технологиями извлечения золота, коренных месторождений практически нет. Руды новых месторождений, как правило, труднообогатимы, для извлечения золота из них, требуются специальные технологии. Внимание золотопромышленных компаний направлено на месторождения золота с низким содержанием металла – 2 – 5 г/т, при условии значительных запасов, возможности отработки карьерами и расположении в непосредственной близости от действующих предприятий [1].

Способ агломерации золота заключается в селективном извлечении олеофильных зерен золота поверхностью носителя, предварительно обработанного аполярным маслом.

Флокуляция как процесс для обогащения руд был предложен южноафриканской компанией «Gold Fields Mining & Development» для извлечения касситерита [2]. В данном процессе шламы обрабатывают специальным реагентом, в качестве которого используют модифицированный полиакриламид.

Процесс угольно-масляной агломерации был развит и запатентован компанией Бритиш Петролеум. Этот процесс является альтернативой существующим методам извлечения золота и основан на отделении гидрофобных частиц от руды в агломераты, сформированные из угля и масла. В Канаде для обогащения тонковкрапленных бедных золотосодержащих руд разработан способ «сферической агломерации», который предусматривает перемешивание рудной пульпы, обработанной предварительно собирателем, с большим количеством аполилярного масла и последующий обжиг масляного агломерата. В Австралии разработан Carbad-процесс для извлечения золота и металлов платиновой группы. Процесс основан на явлении селективной агломерации частиц золота и металлов платиновой группы путем захвата этих частиц Carbad-средой (углерод-углеводородной масляной средой) [3].

Однако, процесс агломерационной флокуляции имеет ряд недостатков. Уголь, который является основой в этом процессе, легко разрушается, нет возможности использовать его повторно.

Отсутствуют данные об использовании синтетических носителей, параметрах процесса при которых достигаются высокие показатели извлечения.

Таблица 1
Результаты рационального анализа (крупность -0,1 мм)

Форма нахождения	Содержание Au, г/т	Распределение, %
Au самородное	0,85	72,7
Au сульфидное	0,31	26,5
Au силикатное	0,009	0,8
Σ Au	1,169	100

Исследования проводились на пробе руды, отобранной на центральной части рудной зоны на участке Золотой Тейско-Уволжской золотоносной площади (Енисейский кряж). Среднее содержание золота по данным паспорта пробы составляет 1,48 г/т.

Руда технологической пробы практически не окислена, образцы с видимыми включениями лимонита встречаются лишь в единичных случаях и представлены сильно трещиноватыми обохренными метасланцами различной, но небольшой мощности - до 5 см. В неизмененных окислением образцах при визуальном осмотре во вкрапленных рудах наблюдаются включения пирита, реже арсенопирита, халькопирита и пирротина.

Крупные зерна золота обнаруживаются в кварце по трещинкам в сопровождении карбонатов. Размеры зерен до 0,37 мм, формы его выделений зависят от комбинаций микротрещин. Более мелкие зерна золота имеют размеры до 0,05мм и менее. Формы зерен золота неправильные остроугольные, иногда изометричные и крючковатые. В качестве механической примеси в сульфидах в единичных случаях золото встречено в пирите и арсенопирите, размеры его выделений до 0,006мм, формы звездчатые и каплевидные.

С целью уточнения форм нахождения золота в исходной руде выполнен рациональный анализ по стандартной методике. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Как показывают данные из табл. 1, в самородной форме золото находится 72,7 %, в сульфидной форме – 26,5 % металла. То есть суммарная доля самородного и сульфидного золота составляет ~99,2 %.

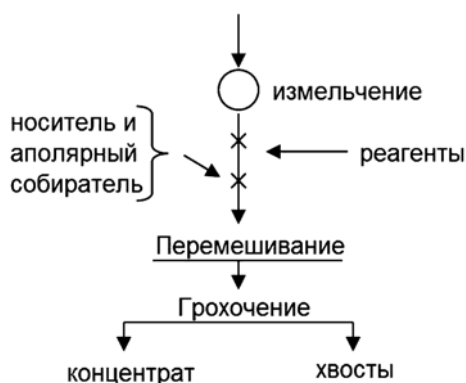


Рис. 1. Схема опытов

Все исследования проводились по схеме представленной на рис. 1.

Данный процесс реализовывался при следующих условиях:

- навеска крупностью 85 % класса - 0,074 мм;
- содержание твердого 50 %;
- частота вращения мешалки 1350 об/мин;
- время перемешивания 90 мин;
- температура 22 град. (комнатная);
- реагенты: сода 200 г/т; медный купорос 40 г/т; ксантогенат 100 г/т;
- температура сушки полученных продуктов 100 ± 10 град.

Эти условия подобраны согласно рекомендациям [4,5,7]. Эксперименты проводились с помощью лабораторного аппарата, на котором исходный продукт смешивается с водой. Далее в него добавляют реагенты и носитель, с последующим перемешиванием. Носитель предварительно обрабатывался аполярным собирателем при помощи непосредственного смешивания и перемешивания носителя и эмульсии аполярного собирателя, которая приготавливалась механическим способом [6]. Полученный продукт отделяют с помощью лабораторного сита.

Оценка всех результатов осуществлялась технологическими критерия-

ми, такими как извлечение металла в концентрат, содержание металла в концентрате, степень сокращения и критерии Ханкока.

Первый этап исследования был направлен на подбор типа носителя и его расхода. К носителю были предъявлены определенные требования: носитель должен выдерживать знакопеременные нагрузки, должен быть легко доступным, иметь сильно развитую внешнюю поверхность, обладать естественной гидрофобностью, по возможности должен легко и просто отделяться от ценного компонента, и обладать возможностью многократного использования. Поэтому предварительно были выбраны такие материалы как однокомпонентный пенополиуретановый герметик (пена), эластичный пенополиуретан (поролон), табачная пыль и для сравнения - уголь.

Процесс оценивали по эффективности обогащения. Расчет выполнялся следующим образом:

$$E = \varepsilon - \gamma, \quad (1)$$

где ε – извлечение минерала в концентрат, %; γ – выход концентрата, %.

По полученным данным были построены графические зависимости эффективности процесса от расхода носителя, которые представлены на рис. 2.

На данном этапе исследования были найдены оптимальные точки расхода для каждого вида носителя. Так лучший результат с углем был получен при его расходе 25 кг/т, с однокомпонентным пенополиуретановым герметиком при расходе 10 кг/т, с эластичным при расходе 15 кг/т, с табачной пылью при расходе 20 кг/т.

Следующий этап исследования был направлен на подбор оптимального расхода аполярного собирателя.

Аполярные масла можно эффективно использовать только при при-

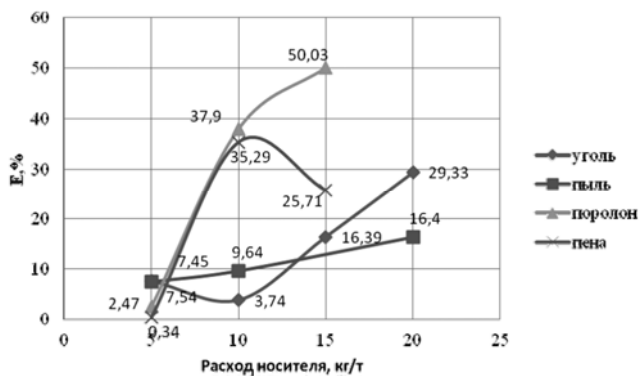


Рис. 2. Влияние расхода носителя на эффективность процесса агломерационной флокуляции

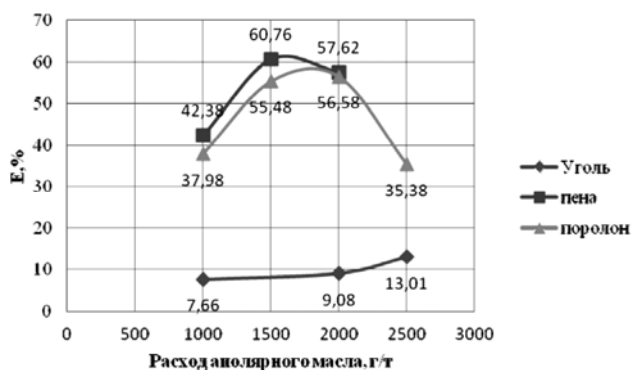


Рис. 3. Зависимость эффективности процесса от расхода аполярного масла

родно гидрофобных или искусственно гидрофобизированных минералах. Исходя из этого, для тонкоизмельченных шламистых руд реагентами оптимального действия являются технические аполярные легкие масла плотностью 0,82–0,87 г/см³, которые обладают меньшей вязкостью [6]. Зная оптимальны расход носителя, были проведены опыты для определения оптимального расхода аполярного масла для каждого типа носителя.

По полученным данным был построен график зависимости влияния

расхода аполярного собирателя на эффективность процесса, представленный на рис. 3.

Изменение расхода трансформаторного масла с 1000 г/т по 2500 г/т приводит к изменению эффективности извлечения золота при использовании разных носителей от 7,66 % до 60,76 %. Из всех исследуемых носителей, худшие результаты получены при использовании угля. В гранулах нет концентрации золота и выход концентрата составляет 3,5–4,4 %.

Более высокие технологические показатели получены при использовании пены: степень концентрации составляет 7–11 при извлечении 49–67 %. Следует отметить тенденцию, которая наблюдалась во всех опытах: с увеличением расхода масла увеличивается содержание металла в гранулах.

Максимальное значение извлечения и эффективности при использовании поролон соответствует расходу масла 1500–2000 г/т. При дальнейшем увеличении расхода масла эффективность процесса уменьшается, вероятно, это связано с тем, что происходит стекание масла с поролон.

Дальнейшие исследования проводились на эластичном пенополиуретане (поролон) с целью определения его износостойкости.

Методика исследования заключалась в определении количества циклов, которые выдерживает поролон. Для учета результатов были выбраны три одинаковых кубика поролон,

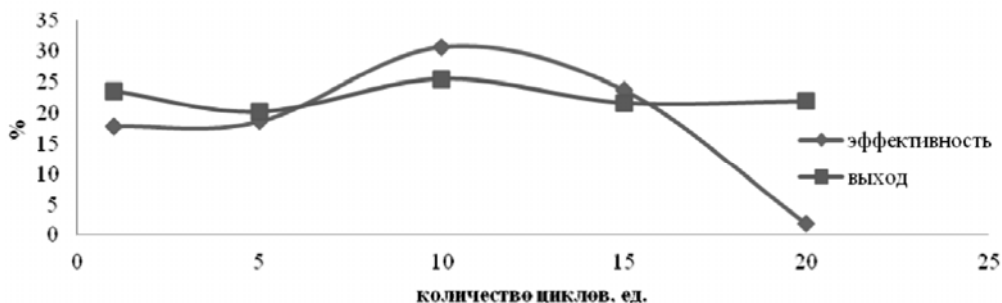


Рис. 4. Диаграмма износостойкости поролона

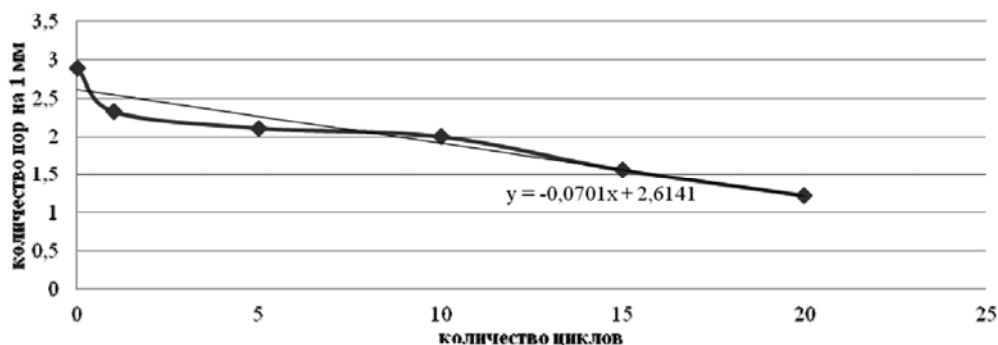


Рис. 5. Зависимость выхода концентрата и эффективности от количества циклов

которые в дальнейшем изучались при многократном увеличении на оптическом оборудовании с целью определения количества пор. Количество пор считалось как среднеарифметическое.

По полученным результатам была построена диаграмма износостойкости поролона.

Как видно из рис. 4 с увеличением количества циклов уменьшается количество пор на единицу площади. Это связано с тем, что происходит механический износ носителя т.к. на него действует абразивный материал, перемещающее устройство, нагрузки при регенерации носителя. Проанализировав данный график, можно сделать вывод что максимальное количество возможных циклов составляет 37.

Зависимость технологических показателей процесса извлечения золота от числа циклов использования пенополиуретана показана на рис. 5.

Как видно, при повторном использовании носителя (до 20 циклов) выход концентрата практически не изменяется.

Увеличение циклов с 1 до 10 приводит к увеличению эффективности на 13 %. Поверхность носителя в этом случае еще не изменилось, а остаточная концентрация аполярного масла способствует повышению эффективности процесса. При увеличении циклов использования носителя с 10 до 20 происходит уменьшение эффективности на 28,77 %. Объяснить это можно изменением состоя-

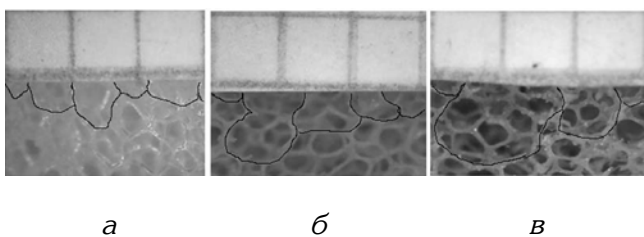


Рис. 6. Поверхность пенополиуретана: а – 0 циклов, б – 10 циклов, в – 20 циклов

ния поверхности пенополиуретана, которая определяет прочность закрепления аполлярного масла, и в конечном счете устойчивость агломерата. Изменение состояния поверхности видно на рис. 6.

Из рисунка видно, что поверхность поролонa изнашивается. К 20 циклу размер пор сильно увеличивается, между порами нет четкой границы.

Работа выполнена в рамках проекта № 2.1.2/4741 «Комплексные исследования традиционных и биотехнологических методов обогащения и переработки руд цветных и благородных металлов» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов А.М. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей / Сазонов А.М., Ананьев А.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власов В.С., Звягина Е.А., Федорова А.В., Тишин П.А., Леонтьев С.И. // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 4 2010. № 3 p.371–395.
2. Таужнянская З.А. Технология извлечения металлов из шламов, отвальных хвостов обогатительных фабрик и шлаков металлургического производства.
3. Bellamy S.R. Gold Forum Technol. And Pract. «World Gold-89»/ Bellamy S.R., House C.I., Veal C.J. // Proc. 1st Joint Int. Meet. Between SME and Aus IMM, Reno, New., nov.5-8, 1989. P.375-379.
4. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов / Абрамов А.А. – М.: МГУ, 2005.
5. Алгебраистова Н.К. Процесс агломерационной флокуляции для извлечения золота из лежалых хвостов / Н.К. Алгебраистова, Е.А.Алексеева, С.А.Никифорова // Цветные металлы . – 2001. – №7. – с. 20–21.
6. Шубов, Л.Я. Теоретические основы и практика применения аполлярных масел при флотации / Л.Я. Шубов, А.С. Кузьмин, А.К. Лившиц. – М.: Недра, 1969. – 144 с.
7. Дерягин, Б.В. Микрофлотация: Водоочистка, обогащение / Б.В. Дерягин, С.С.Духин, Н.Н. Рулев. – М.: Химия, 1986. – 112 с.

Коротко об авторах

Алгебраистова Н.К. – профессор, кандидат технических наук, зав. кафедрой ОПИ СФУ,
Макшанин А.В. – аспирант.
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» («СФУ») Институт цветных металлов и материаловедения, algebraistova@mail.ru