

ВЛИЯНИЕ СЕРНИСТО-АРОМАТИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТА НА ФЛОТАЦИЮ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО ПИРИТА

Анциферова С.А., Маркосян С.М., Суворова О.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Красноярск, Россия (660036, Красноярск, Академгородок, 50, строение 24), E-mail: smarkosyan@rambler.ru

Приведены результаты исследований влияния сернисто-ароматического концентрата (САК) и его сочетаний с бутиловым ксантогенатом калия (БКК) на эффективность флотации золотосодержащего пирита различной крупности. Для флотационных опытов использовались минеральные фракции крупностью $-0,25+0,1$, $-0,1+0,074$, $-0,074+0,044$ и $-0,044+0,02$ мм с массовой долей пирита 91,7–92,3 % и содержанием золота от 38,1 до 54,5 г/т. Исследования проводились в аппарате для микрофлотации в присутствии пенообразователя (Т-80) в благоприятной для флотации пирита и золота рН-среды (4,85–5,0). Установлено, что САК обладает собирательной способностью по отношению к образцам пирита различной крупности и может самостоятельно успешно флотировать фракции крупностью $-0,25+0,1$ и $-0,1+0,074$ мм с незначительной потерей извлечения по сравнению с БКК. Показано, что при флотации пирита крупностью до 0,044 мм возможно использовать САК (до 50 %) в композиции с БКК без потери извлечения. При флотации тонкой фракции пирита ($-0,044+0,02$ мм) использование композиции БКК/САК с соотношением расходов реагентов от 1,0/0,1 до 1,0/0,75 мг/г даёт прирост извлечения 9,8 %.

Ключевые слова: золотосодержащий пирит, флотация, сернисто-ароматический концентрат, извлечение.

THE INFLUENCE OF SULPHUROUS AROMATIC CONCENTRATE ON FLOTATION OF GOLD-BEARING PYRITE

Antsiferova S.A., Markosyan S.M., Suvorova O. N.

Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, (660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok 50/24), E-mail: smarkosyan@rambler.ru

The aim of the research was to investigate the influence of sulphurous aromatic concentrate (SAC) and its combinations with potassium butyl xanthate (PBX) on the efficiency of flotation of gold-bearing pyrite of varying size. Mineral fractions of size $-0.25+0.1$, $-0.1+0.074$, $-0.074+0.044$, and $-0.044+0.02$ mm with a mass fraction of pyrite 91,7–92,3% and gold content of 38.1 to 54.5 g/t were used for flotation experiments. The experiments were conducted in an apparatus for microflotation in the presence of a frother (T-80) in a pH-environment favorable for the flotation of pyrite and gold (4,85–5,0). It was found out that the SAC has had collecting capacity with respect to pyrite samples of various sizes and it could independently successfully floatate fractions of size $-0.25+0.1$ and $-0.1+0.074$ mm with a slight loss of recovery as compared with PBX. It was also shown that for the flotation of pyrite of size up to 0,044 mm, it is possible to use the SAC (50 %) in combination with PBX without loss of recovery. For the flotation of a fine fraction of pyrite (-0.044 0.02 mm), usage of a combination PBX/SAC with ratio of reagents usage from 1.0/0.1 to 1.0/0.75 mg/g gives a recovery gain of 9,8 %.

Keywords: gold-bearing pyrite, flotation, sulphurous aromatic concentrate, recovery.

Известно, что в большинстве гидротермальных месторождений основная часть благородных металлов, в том числе золота, концентрируется в виде тончайших вкраплений в сульфидных минералах, в большей степени – в пирите [9].

Изучению флотационных свойств пирита посвящены многочисленные исследования. Пириты в зависимости от генезиса месторождений обладают различной флотуемостью, и это различие связано с особенностями в строении кристаллической решетки минерала и наличием примесей [10]. Известно, что пирит, содержащий продукты окисления, активно флотуется ксантогенатами, а количество сорбированного ксантогената зависит от степени окисления пирита и рН. При рН >8 сорбция ксантогената значительно ухудшается [6,3].

По данным Глембоцкого [5] золото с чистой поверхностью флотируется несколько труднее сульфидных минералов, но, все же, хорошо извлекается ксантогенатами (особенно бутиловым). Для закрепления ксантогената достаточно предварительного, относительно небольшого взаимодействия золота с кислородом, растворенным в воде. Флотационная активность золота подавляется щелочной средой, особенно созданной известью, меньше – содой и NaOH. При флотации тонкого золота в сростках с другими минералами последние определяют характер процесса. Однако существует мнение, что собиратели адсорбируются на свежеобразованной поверхности золота прочнее, чем на минералах тяжелых металлов, и его присутствие изменяет их флотируемость в сторону повышения [12].

Известно, что совместное использование аполярных реагентов и гетерополярных собирателей способствует значительному повышению прочности прилипания минеральной частицы к пузырьку, что позволяет повысить верхний предел крупности флотируемых частиц [5]. С другой стороны, введение в процесс флотации аполярных органических добавок может усилить селективную флокуляцию, вызванную адсорбцией анионных собирателей и тем самым создать благоприятные условия для флотации тонких частиц [12].

В работе [1] нами показана возможность эффективного использования сернисто-ароматического концентрата (САК), полученного из высокосернистой дизельной фракции нефти, в композиции с бутиловым ксантогенатом калия (БКК) при флотационном извлечении золота из хвостов гравитационного цикла крупностью 95 % -0,074 мм. По данным хромато-масс-спектрометрии ароматические углеводороды (48,5 %) и сероорганические соединения (51,5 %) в составе САК представлены моно-, би- и трициклическими структурами.

Цель настоящих исследований - изучение влияния САК и его композиций с БКК на флотационные свойства золотосодержащего пирита различной крупности.

Материалы и методы

Наиболее информативными, с точки зрения изучения селективности реагентов, являются исследования на мономинеральных фракциях с определённой степенью чистоты. При соответствующей конструкции аппарата флотацию можно вести из турбулентной среды и тем моделировать условия пенной флотации [11].

Минерал для исследований отбирался из гравитационного концентрата крупностью – 2,0+1,0 мм, полученного при обогащении пробы золотосодержащей руды месторождения Сухой Лог, где пирит является доминирующим рудным минералом и по всей массе пирита, спорадически, встречается золото, главным образом, в виде микроскопических и тонких включений [4]. Минерал отбирался по характерным признакам под бинокулярным микроскопом.

Анализ ДСК-термограммы (NETZSCH STA 449 *Jupiter*) кристаллов крупностью –

2,0+1,0 мм показал, что выявленные области термических эффектов, согласно литературным данным [8] идентифицируют минерал, как пирит. По данным химического анализа кристаллов пирита крупностью -2,0+1,0 мм в них выявлено незначительное отклонение от стехиометрии ($S_{\phi}/S_{\tau}=52,59/53,3=0,99$; $Fe_{\phi}/Fe_{\tau}= 47,24/46,7=1,01$).

Для флотационных опытов готовились фракции пирита различной крупности по схеме, изображенной на рис. 1.

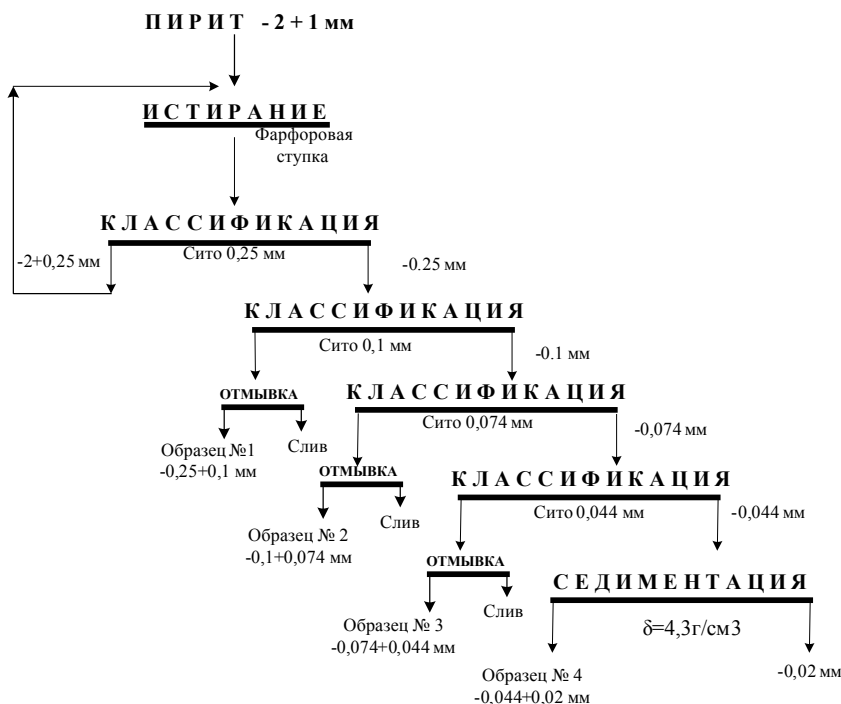


Рис. 1. Схема подготовки фракций пирита различной крупности

По данным рентгено-флуоресцентного анализа (табл. 1) во всех образцах доминирует пирит (91,7 – 92,2 %). Из примесных минералов определяются пирротин, сидерит, кальцит и кварц.

Таблица 1

Основной фазовый состав исследуемых образцов

Формула	Минерал	Массовая доля, %			
		Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Fe S ₂	Pyrite	91,7	92,3	91,8	92,2
Ca (C O ₃)	Calcite	0,7	0,8	0,8	0,9
Fe _{1-x} S	Pyrrhotite	0,5	0,5	0,8	0,8
Fe (C O ₃)	Siderite	0,8	1,5	1,3	2,1
Si O ₂	Quartz	6,2	4,7	5,1	3,9

Элементный состав исследуемых образцов, представленный в табл. 2, свидетельствует о возможном присутствии в них таких минеральных фаз, как арсенопирит, халькопирит, пентландит, алюмосиликаты, наличие которых характерно для месторождения Сухой Лог [4].

Образцы незначительно различаются по содержанию основных элементов, за исключением золота, массовая доля которого варьирует от 38,1 г/т до 54,5 г/т (табл. 2).

Основной элементный состав исследуемых образцов

Элемент	Массовая доля, % (Au, г/т)			
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Золото	46,5	54,5	50,5	38,1
Железо	51,16	50,8	51,9	50,16
Мышьяк	0,52	0,51	0,52	0,51
Медь	0,11	0,1	0,14	0,22
Никель	0,13	0,12	0,13	0,14
Кобальт	0,09	0,09	0,09	0,1
Алюминий	0,26	0,25	0,18	0,7
Кремний	2,58	2,7	2,27	2,47
Кальций	0,19	0,13	0,17	0,12

По данным сканирующей электронной микроскопии (ТМ-1000, оснащенный рентгеноспектральным анализатором) золото в образцах различной крупности – самородное, либо свободное, либо ассоциировано с пиритом. Определен размер золотинок от сотен до единиц мкм.

Флотационные опыты проводились в аппарате для микрофлотации, конструкция которого максимально приближена к усовершенствованной по Д. Фюрстенау трубке Халлимонда [7,2].

Флотация осуществлялась в благоприятной для пирита и золота среде с рН 4,85–5,0. Влияние БКК и САК на результаты флотации изучалось в присутствии пенообразователя Т-80 (1,0 мг/г). БКК и Т-80 подавались в процесс в виде растворов 0,05 %-ой концентрации, САК – в виде 0,05 %-ой эмульсии, приготовленной на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2Т. Время контактирования минерала с Т-80, БКК и САК – 1 минута.

Результаты опытов отражены на рисунках 2–5 и в таблицах 3–5.

Результаты и их обсуждение

Результаты опытов по флотации образцов различной крупности без собирателей представлены в табл. 3.

Таблица 3

Флотируемость образцов пирита различной крупности без собирателей

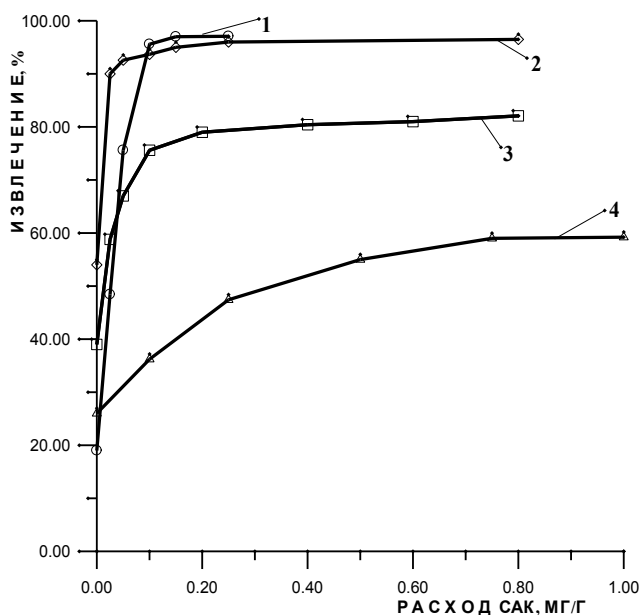
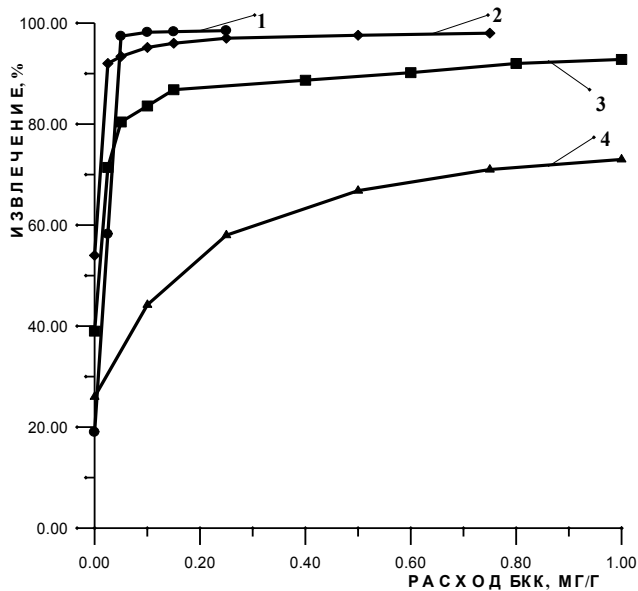
Условия флотации	Извлечение, %			
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Дистиллированная вода	7,0	16,0	6,6	15,6
Дистиллированная вода + Т-80	19,0	54,0	39,0	26,0

По данным таблицы 3 флотоактивность исследуемых образцов в присутствии пенообразователя можно расположить в ряд: №2>№3>№4>№1. Повышенная флотационная активность образца № 2, возможно, в основном, связана с размером и большей однородностью частиц материала.

На рисунке 2 показано влияние расхода БКК на флотируемость образцов пирита

различной крупности, откуда видно, что очень активно БКК ведёт себя по отношению к крупным фракциям (образцы № 1 и № 2). Уже при расходах ксантогената 0,05–0,1 мг/г и 0,1–0,25 мг/г извлечение в пенный продукт составляет 97,4–98,2 % и 95,18–97,0 % соответственно. Достаточно хорошо с БКК флотируется образец № 3, но при больших расходах (0,8–1,0 мг/г). Минимальную флотационную активность проявляет самая тонкая фракция (образец № 4).

На рисунке 3 показано влияние расхода сернисто-ароматического концентрата на флотоактивность различных по крупности образцов пирита, откуда следует, что реагент, так же как и БКК, обладает высокой собирательной способностью по отношению к испытуемым образцам № 1 и № 2. Разница в извлечении по сравнению с БКК незначительна. При флотации образцов № 3 и № 4 с САК выход пирита в пенный продукт на 10,7 % и 13,8 % ниже, чем с БКК.



Показатели по извлечению пирита различной крупности ксантогенатом и сернисто-ароматическим концентратом при оптимальных расходах представлены таблицей 4.

Таблица 4

Флотуемость образцов пирита различной крупности с собирателями при оптимальных расходах

Реагент	Образец №1		Образец №2		Образец №3		Образец №4	
	Расход, мг/г	Извлечение, %	Расход, мг/г	Извлечение, %	Расход, мг/г	Извлечение, %	Расход, мг/г	Извлечение, %
БКК	0,10	98,20	0,25	97,00	1,00	92,80	1,00	73,00
САК	0,15	97,00	0,25	96,00	0,80	82,10	1,00	59,20

Как видно из таблицы 4, САК может самостоятельно успешно флотировать образцы №1 и №2 с незначительной потерей извлечения по сравнению с БКК при расходах 0,15 и 0,25 мг/г.

С целью повышения извлечения проведены опыты с совместной подачей БКК и САК с различными долями САК в композиции собирателей. Результаты опытов отражены в таблице 5 и на рисунках 4 и 5.

Таблица 5

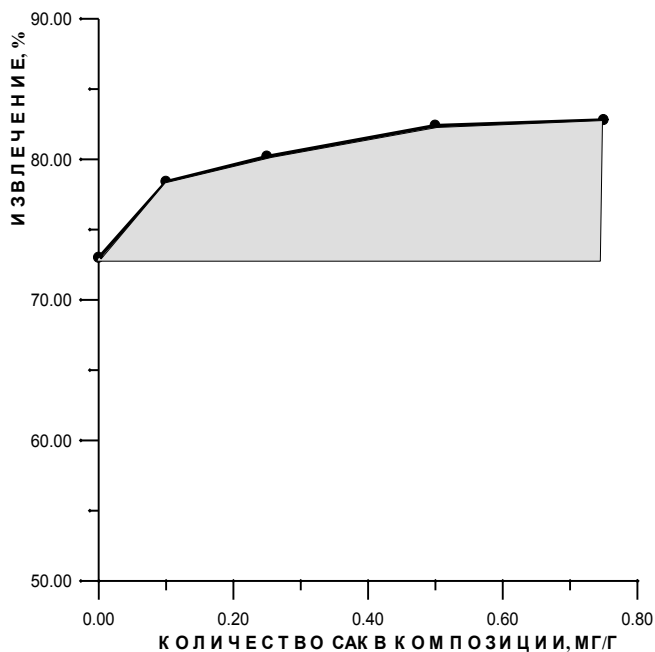
Влияние количества САК в композиции БКК/САК на показатель извлечения фракций пирита различной крупности

Образец №1		Образец №2		Образец №3		Образец №4		Расход БКК/САК, мг/г;	Извлечение, %
Общий расход, мг/г; [доля САК, %]	Извлечение, %	Общий расход, мг/г; [доля САК, %]	Извлечение, %	Общий расход, мг/г; [доля САК, %]	Извлечение, %	Общий расход, мг/г; [доля САК, %]	Извлечение, %		
0,10 [0]	98,20	0,25 [0]	97,00	1,00 [0]	92,80	1,00 [0]	73,00	1,00/0,00	73,00
-/- [20]	98,00	-/- [20]	97,30	-/- [20]	92,80	-/- [10]	76,00	1,00/0,1	78,40
-/- [40]	98,00					-/- [25]	78,00	1,00/0,25	80,2
-/- [50]	98,20	-/- [50]	98,40	-/- [50]	93,40	-/- [50]	76,50	1,00/0,5	82,4
-/- [70]	97,80	-/- [70]	98,20	-/- [75]	88,80	-/- [75]	72,60	1,00/0,75	82,8
-/- [80]	97,00	-/- [80]	97,00			-/- [90]	67,00		

Как видно из таблицы 5, для образцов № 1–№ 3, у которых показатели по извлечению с

БКК высокие, при использовании композиций БКК/САК возможно снижение расхода БКК на 50 % без потери извлечения для образца № 1 и с незначительным увеличением (до 1,2 и 0,6 %) для фракций № 2 и № 3.

Для образца № 4, где максимальное извлечение при расходе БКК 1,0 мг/г достигает лишь 73,0 %, использование БКК в композиции с САК, где доля САК составляет 10–25 %, позволяет повысить извлечение пирита в пенный продукт на 3–5 %.



При использовании композиций с соотношением расходов БКК/САК от 1,0/0,1 мг/г до 1,0/0,75 мг/г извлечение пирита в пенный продукт возрастает на 5,4 – 9,8 %.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что САК обладает достаточно высокой собирательной способностью по отношению к золотосодержащему пириту различной крупности, которая последовательно снижается от более крупной фракции к тонкой. САК успешно флотирует золотосодержащий пирит крупностью $-0,25+0,1$ и $-0,1+0,074$ мм с незначительной потерей извлечения по сравнению с БКК. Использование САК в композиции с БКК при флотации фракций крупностью до 0,044 мм позволяет снизить расход сульфгидрильного собирателя без потери извлечения. Максимальный прирост извлечения (до 9,8%) получен при совместном использовании БКК и САК с соотношением расходов реагентов в композиции от 1,0/0,1 до 1,0/0,75 мг/г при флотации фракции крупностью

-0,044+0,02 мм.

Список литературы

1. Анциферова С.А., Самойлов В.Г., Мин Р.С., Суворова О.Н. Влияние сернисто-ароматического концентрата нефти на технологические показатели флотации при обогащении золотосодержащей руды // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 181-188.
2. Анциферова С.А., Самойлов В.Г., Самойлова Л.Н. Влияние гуматных реагентов на флотируемость флюорита, кальцита и кварца олеатом натрия // В сб. научных тр. «25 лет Институту химии и химической технологии СО РАН: Итоги и перспективы»: В 2 т. Красноярск, 2006. – Т.1. – С. 101-109.
3. Богданов О.С., Максимов И.И., Поднек А.К., Янис Н.А. Теория и технология флотации руд. – М.: Недра, 1990. – 363 с.
4. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 3–16.
5. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1981. – 304 с.
6. Годэн А.М. Флотация. – М.: Госгортехиздат, 1959. – 653 с.
7. Долженкова А.И. Усовершенствованная установка для микрофлотации // Обогащение руд. – 1968. – № 3. – С. 52-53.
8. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розинова Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. – Л.: Недра, 1974. – 399 с.
9. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: В 2 т. –Иркутск: Иргиредмет, 1999. – Т. 1. – 342 с.
10. Матвеева Т.Н. Повышение эффективности флотационного извлечения золотосодержащих сульфидов из труднообогатимых руд на основе изучения примесного состава // Цветные металлы. – 2011. – № 12. – С. 26-31.
11. Мелик-Гайказян В.И., Абрамов А.А., Рубинштейн Ю.Б. и др. Методы исследования флотационного процесса. – М.: Недра, 1990. – 301 с.
12. Митрофанов С.И. Селективная флотация. – М., Недра, 1967. – 584 с.

Рецензенты:

Жереб В.П., д.х.н., доцент, зав. кафедрой металловедения и термической обработки металлов им. В.С. Биронта, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск;
Гуревич Ю.Л., д.ф.-м.н., с.н.с., г.н.с., ФГБУН Красноярский научный центр Сибирского

отделения РАН, г. Красноярск.