

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.765

Комплексное использование
минерального сырья. № 1. 2018.

Л. В. СЕМУШКИНА*, Д. К. ТУРЫСБЕКОВ, А. А. МУХАНОВА, С. М. НАРБЕКОВА,
А. М. МУХАМЕДИЛОВА

Институт металлургии и обогащения, КазННТУ имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан
*e-mail: syrmushkina.lara@mail.ru

ПЕРЕРАБОТКА ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ РУД КАЗАХСТАНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ФЛОТОРЕАГЕНТА

Резюме: Хвосты обогащения руд цветных металлов представлены тонкоизмельченной массой с отсутствием четкой структуры, неоднородностью вещественного состава, взаимным прорастанием минералов, изменчивостью физико-химических свойств минеральных поверхностей под воздействием окисления, коррозии, выщелачивания и ряда других процессов. Создание общих принципов выбора композиций собирателей для селективной флотации разделяемых минералов, разработка реагентных режимов на основании использования сочетания собирателей разной ионогенности остаются актуальной задачей. Рассмотрена возможность переработки хвостов флотационного обогащения руды Тишинского, Шалкинского и Риддер-Сокольного месторождений с применением модифицированного флотореагента. Модифицированный собиратель представляет собой смесь композиционного аэрофлота, тионокарбамата и бутилового ксантогената. Сырьем для получения композиционного аэрофлота являлась композиционная смесь спиртов $C_3H_7-C_6H_{13}-OH$, выделенная из осушенной спиртовой фракции сивушного масла. Показано, что применение модифицированного собирателя при переработке хвостов флотационного обогащения руды Тишинского месторождения позволяет повысить извлечение полезных компонентов в коллективный концентрат на %: меди - 9,63, свинца - 8,41, цинка - 9,2, железа - 2,73, золота - 3,57. При флотации хвостов месторождения Шалкия модифицированный собиратель по сравнению с базовым режимом позволяет повысить содержание свинца в концентрате на 5,0 %. В черновом цинковом концентрате извлечение цинка повышается на 9,13 %. Разработана эффективная технология переработки хвостов флотационного обогащения руды Риддер-Сокольного месторождения с применением модифицированных флотореагентов. Применение модифицированного собирателя позволяет повысить извлечение полезных компонентов в коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, полученный из хвостов обогащения руды Риддер-Сокольного месторождения на %: меди - 2,31, свинца - 9,12, цинка - 4,61, железа - 3,68, золота - 10,74. Расход модифицированного реагента, по сравнению с базовым собирателем снижается на 15-20 %.

Ключевые слова: флотационные хвосты, извлечение, модифицированный реагент, флотация, концентрат

Введение. Вовлечение в переработку больших объемов труднообогатимого сырья требует применения новых технологических приемов и реагентных режимов. Неравномерная вкрапленность, тонкое взаимопрорастание рудных минералов между собой и с породными минералами, неблагоприятное соотношение разделяемых минералов значительно затрудняют получение высоких технологических показателей обогащения. Анализ существующих схем обогащения свидетельствует, что значительная часть металлов, находящихся в хвостах обогащения (сырье сложного состава с низким содержанием металлов), не может быть эффективно извлечена с использованием отработанных на первичном сырье методов [1-3]. В целом хвосты обогащения руд представлены тонкоизмельченной массой, с отсутствием четкой структуры, неоднородностью вещественного состава, взаимным прорастанием минералов, изменчивостью физико-химических свойств минеральных поверхностей под воздей-

ствием окисления, коррозии, выщелачивания и ряда других процессов. Создание общих принципов выбора композиций собирателей для селективной флотации разделяемых минералов, разработка реагентных режимов на основании использования сочетания собирателей разной ионогенности остается актуальной задачей [4-7]. Известны следующие сочетания сульфидрильных собирателей: собиратели с одинаковой солидофильной группой, но с разной длиной углеводородного радикала (этиловый и бутиловый ксантогенаты и т.д.); собиратели с разными солидофильными группами (ксантогенаты и дитиофосфаты, дитиофосфаты и меркаптобензотиозолы и др.); ионогенные и неионогенные собиратели (ксантогенаты и диксантогениды; ксантогенаты и тионокарбаматы; дитиофосфаты и диалкилсульфиды и др.) [8-9]. Исследованиями показано, что селективно действующее сочетание ионогенных сульфидрильных собирателей должно состоять из 35 % слабого и 65 % сильного собирателя. На

практике наиболее часто в сочетании слабого и сильного ионогенных сульфидрильных собирателей используется массовое соотношение 1:1. В качестве неионогенных компонентов используют дисульфиды, тиокарбаматы, эфиры ксантогеновых кислот, тиоамиды, диалкилсульфиды, и др. [10-11]. Существуют разные точки зрения на механизм действия сочетания слабого и сильного собирателей, однако большинство сходится во мнении, что эффект действия связан с формированием адсорбционного слоя на поверхности разделяемых минералов [12-13]. Абрамовым А.А. сформулирован принцип об оптимальном соотношении химической и физической форм сорбции собирателей на минералах для успешной флотации. Текущие отходы производств обогатительных фабрик и ранее сформированные техногенные минеральные образования являются перспективными георесурсами, которые могут быть эффективно освоены при современном уровне развития техники и технологий [14].

В хвостохранилищах обогатительных фабрик Казахстана, перерабатывающих различные руды, накоплены сотни миллионов тонн хвостов флотации, которые содержат значительные количества цветных и благородных металлов. В условиях существенного истощения балансовых запасов руд месторождений Казахстана и снижения их качества, отходы обогащения можно рассматривать как дополнительный источник металлов, несмотря на более низкое, по сравнению с рудой, содержание в них ценных компонентов.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. *Методы исследований:* минералогический анализ, рентгенофазовый анализ (рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE); рентгенофлуоресцентный анализ (рентгенофлуоресцентный спектрометр с волновой дисперсией Venus 200 PANalytical B.V. (PANalytical B.V., Голландия), химический анализ, флотация (на флотомашине ФЛ-290, ФМ-1, ФМ-2 (Россия).

Проведены исследования по изучению возможности переработки хвостов флотационного обогащения руд Тишинского, Шалкинского и Риддер-Сокольского месторождений с применением модифицированного флотореагента. Модифицированный собиратель представляет собой смесь композиционного аэрофлота, N-аллил-о-изобутилтиокарбамата ТС1000 и бутилового ксантогената. Композиционный аэрофлот получен на основе казахстанского сырья - модифицированного сивушного масла, отхода спиртового производства. Сырьем для получения композиционного

аэрофлота являлась композиционная смесь спиртов $C_3H_7-C_6H_{13}-OH$, выделенная из осушенной спиртовой фракции сивушного масла. Согласно фракционной разгонке сивушного масла, основным компонентом осушенного сивушного масла является изоамиловый спирт более 80 %. Для приготовления смеси флотореагентов композиционный аэрофлот, неионогенный N-аллил-о-изобутилтиокарбамат (ТС-1000) и бутиловый ксантогенат (БКс) в сухом виде смешивались при массовом соотношении 1:1:3.

Изучен вещественный состав исследуемых хвостов флотации. По результатам рентгенофлуоресцентного анализа в исходной пробе хвостов флотационного обогащения руды Тишинского месторождения содержание свинца составило 0,048 %, меди 0,03 %, цинка 1,501 %, железа 2,863 %. Химический анализ показал, что в пробе исследуемых хвостов содержится 0,05 % меди; 0,06 % свинца; 1,1 % цинка; 52,3 % SiO_2 ; 2,3 % железа общ.; 8,1 % Al_2O_3 ; 2,5 % CaO ; 8,7 % MgO . Дисперсионный анализ хвостов флотационного обогащения руды Тишинского месторождения показал, что большая часть полезных компонентов – меди, свинца и цинка сосредоточена во фракции 0-10 мкм [15].

Проведена отработка реагентного режима флотации хвостов, обогащения руды Тишинского месторождения с применением базовых реагентов. Выбраны оптимальный режим доизмельчения (75 % класса -0,040 мм), расходы базовых реагентов – бутилового ксантогената (150 г/т) и вспенивателя (80 г/т).

По базовой технологии в укрупнено-лабораторном масштабе получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 2,0 % меди при извлечении 67,11 %; 1,6 % свинца при извлечении 62,02 %; 3,2 % цинка при извлечении 62,02 %; 7,0 % железа при извлечении 41,67 %; 4,1 г/т золота при извлечении 54,45 %.

При флотации с применением модифицированного реагента получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 2,2 % меди при извлечении 76,74 %; 1,8 % свинца при извлечении 70,43 %; 3,3 % цинка при извлечении 71,22 %; 7,1 % железа при извлечении 44,4 %; 4,3 г/т золота при извлечении 58,02 %.

Результаты укрупнено-лабораторных испытаний показали, что применение модифицированного собирателя позволяет повысить извлечение

полезных компонентов в коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, полученный из хвостов обогащения руды Тишинского месторождения: меди - на 9,63 %, свинца – на 8,41 %, цинка – на 9,2 %, железа – на 2,73 %, золота – на 3,57 %.

При этом расход модифицированного собирателя, по сравнению с бутиловым ксантогенатом, снижается на 15 %, расход базового пенообразователя Т-92 снижается на 20 %.

Проведены исследования по изучению минерального и гранулометрического состава и обработке технологического режима флотации хвостов флотационного обогащения руды месторождения Шалкия. Химический анализ показал, что в пробе исследуемых хвостов содержится 1,1 % свинца; 1,8 % цинка; 55 % SiO₂; 2,42 % железа; 3,5 % Al₂O₃; 10,5 % CaO; 5,7 % MgO. Проведен дисперсионный анализ, который показал, что большая часть полезных компонентов – свинца (71,4 %) и цинка (71,96 %) сосредоточена во фракции 0-30 мкм (Таблица 1).

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа хвостов флотационного обогащения руды месторождения Шалкия

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, %		Распределение, %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
+0,040	20,0	0,6	1,1	10,89	10,52
- 0,040 +0,030	21,0	0,9	1,8	17,15	18,08
- 0,030 +0,020	23,0	1,5	2,5	31,31	27,50
- 0,020 +0,010	22,0	1,4	2,9	27,95	30,51
- 0,010 +0	14,0	1,0	2,0	12,70	13,39
Итого:	100,0	1,102	2,091	100,0	100,0

Таблица 2 – Результаты укрупненно-лабораторных испытаний технологии переработки хвостов месторождения Шалкия с применением модифицированного собирателя

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Примечание
		Pb	Zn	Pb	Zn	
Pb черн. к-т	2,3	18,2	6,8	32,86	8,33	Базовая технология: БКс - 150 г/т Т-92 – 80 г/т
Zn черн. к-т	3,5	5,6	19,6	15,38	36,52	
Отв. хвосты	94,2	0,7	1,1	51,76	55,16	
Исх. хвосты	100,0	1,274	1,88	100,0	100,0	
Pb черн. к-т	1,65	23,2	6,3	33,38	5,91	Модиф. собиратель - 100 г/т Т-92 – 70 г/т
Zn черн. к-т	3,7	5,3	21,7	17,1	45,65	
Отв. хвосты	94,65	0,6	0,9	49,52	48,44	
Исх. хвосты	100,0	1,147	1,76	100,0	100,0	

Схема флотации хвостов обогащения руды месторождения Шалкия получением свинцового и цинкового черновых концентратов включала в себя свинцовый и цинковый циклы с контрольными флотациями и тремя перечистками свинцового и цинкового черновых концентратов.

В схеме флотации использовали следующие реагенты в качестве:

- депрессора цинковых минералов – цинковый купорос и цианид натрия;
- сульфидизатора – сернистый натрий;
- депрессора пустой породы – жидкое стекло;
- собирателя – бутиловый ксантогенат натрия и аэрофлот, модифицированный реагент;
- вспенивателя – Т-92;
- регулятора среды – известь;
- активатора цинковых минералов – медный купорос.

Укрупненно-лабораторные испытания флотации хвостов флотационного обогащения руды месторождения Шалкия проведены по базовой технологии и с применением модифицированного реагента. Результаты укрупненно-лабораторных испытаний представлены в таблице 2.

По базовому режиму в качестве собирателя использовали бутиловый ксантогенат натрия и аэрофлот. При этом получен черновой свинцовый концентрат, содержащий 18,2% свинца при извлечении 32,86 % и черновой цинковый концентрат, содержащий 19,6 % цинка при извлечении 36,52 %.

С применением модифицированного собирателя при его оптимальном расходе в основной свинцовой и цинковой флотации хвостов по 100 г/т получен черновой свинцовый концентрат, содержащий 23,2 % свинца при извлечении 33,38 % и черновой цинковый концентрат, содержащий 21,7 % цинка при извлечении 45,65 %.

Таблица 3 – Результаты дисперсионного анализа хвостов флотационного обогащения руды Риддер-Сокольного месторождения

Крупность, мкм	Выход, %	Содержание, %, г/т					Распределение, %				
		Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Au	Ag
-10+0	66,7	0,0052	0,04	0,036	0,26	0,7	71,94	46,7	73,2	55,61	68,9
-20+10	12,9	0,0042	0,026	0,03	0,22	0,52	11,23	5,87	11,8	9,11	9,91
-30+20	12,6	0,0047	0,2	0,024	0,44	0,64	12,29	44,1	9,22	17,78	11,9
-40+30	7,8	0,0028	0,024	0,024	0,7	0,8	4,54	3,28	5,78	17,50	9,22
Исход. хвосты	100	0,0048	0,0571	0,033	0,312	0,67	100	100	100	100	100

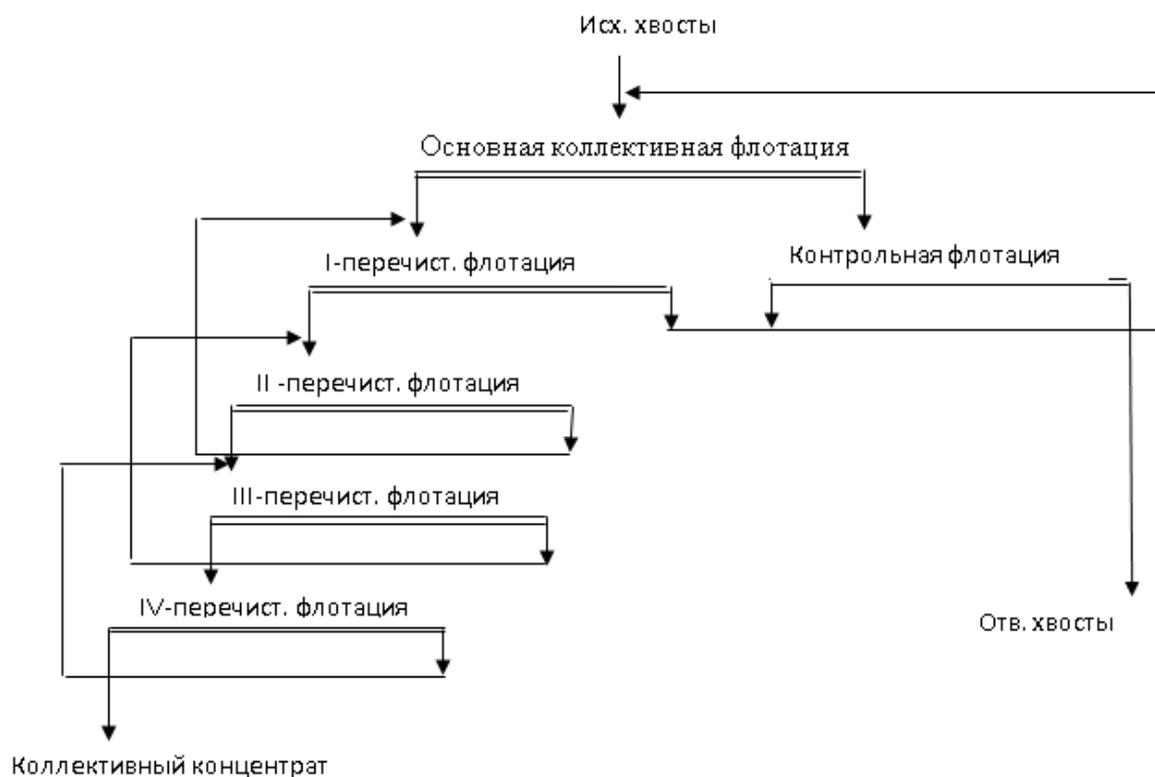


Рисунок 1 – Технологическая схема укрупненно-лабораторных испытаний технологии переработки хвостов Риддер-Сокольного месторождения

Применение модифицированного собирателя, по сравнению с базовым режимом, позволяет повысить содержание свинца в концентрате на 5,0 %. В черновом цинковом концентрате извлечение цинка повышается на 9,13 %. Расход модифицированного реагента, по сравнению с базовым собирателем, снижается примерно на 15-20 %.

Проведены исследования по отработке технологического режима флотации хвостов флотационного обогащения руды Риддер-Сокольного месторождения. Химический анализ показал, что в пробе исследуемых хвостов со-

держится 0,005 % меди, 0,057 % свинца, 0,03 % цинка, 1,5 % железа, 0,31 г/т золота, 0,67 г/т серебра. Дисперсионный анализ показал, что большая часть полезных компонентов сосредоточена во фракции 0-20 мкм: 83,17 % меди, 52,59 % свинца, 85,0 % цинка, 87,22 % железа, 64,72 % золота, 78,87 % серебра. Результаты дисперсионного анализа хвостов флотационного обогащения руды Риддер-Сокольного месторождения представлены в таблице 3.

Проведены укрупненно-лабораторные испытания разработанной технологии переработки

хвостов флотационного обогащения руды Риддер-Сокольского месторождения с применением модифицированного реагента, представляющего собой смесь композиционного аэрофлота, ТС-1000 и бутилового ксантогената в соотношении 1:1:3. Технологическая схема флотации хвостов флотационного обогащения руды Риддер-Сокольского месторождения включала доизмельчение хвостов, основную, контрольную флотации и четыре перечистки коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата (рисунок 1).

Исходная оптимальная крупность хвостов флотации Риддер-Сокольского месторождения по классу -0,040 мм составляла 85,0 %. Расход бутилового ксантогената натрия по базовой технологии составлял 200 г/т, расход пенообразователя Т-92 – 80 г/т. Показано, что расход модифицированного реагента, по сравнению с базовым собирателем снижается примерно на 30 % - с 200 г/т до 150 г/т.

По базовой технологии получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 1,5 % меди при извлечении 77,9 %; 1,8 % свинца при извлечении 61,33 %; 3,5 % цинка при извлечении 59,21 %; 8,5 % железа при извлечении 37,47 %; 6,9 г/т золота при извлечении 32,72 %.

С применением модифицированного собирателя получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, содержащий 1,7 % меди при извлечении 80,21 %; 2,0 % свинца при извлечении 70,45 %; 3,7 % цинка при извлечении 63,82 %; 8,8 % железа при извлечении 41,15 %; 8,6 г/т золота при извлечении 43,46 %. Применение модифицированного собирателя позволяет повысить извлечение полезных компонентов в коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, полученный из хвостов обогащения руды Риддер-Сокольского месторождения: меди - на 2,31 %, свинца – на 9,12 %, цинка – на 4,61 %, железа – на 3,68 %, золота – на 10,74 %. При этом расход модифицированного собирателя на 50 г/т меньше, чем бутилового ксантогената натрия.

Выводы. Таким образом, рассмотрена возможность переработки хвостов флотационного обогащения руды Тишинского, Шалкиинского и Риддер-Сокольского месторождений с применением модифицированного флотореагента.

На основе комплексных исследований выбран модифицированный собиратель, состоящий из смеси композиционного аэрофлота, ТС-1000 и бутилового ксантогената. Композиционный аэрофлот получен на основе казахстанского сырья - модифицированного сивушного масла - отхода спиртового производства. Сырьем для получения композиционного аэрофлота являлась

композиционная смесь спиртов $C_3H_7-C_6H_{13}-OH$, выделенная из осушенной спиртовой фракции сивушного масла. Соотношение реагентов составляло 1:1:3.

Показано, что при флотации хвостов Тишинского месторождения применение модифицированного собирателя позволяет повысить извлечение полезных компонентов в коллективный концентрат: меди - на 9,63 %, свинца – на 8,41 %, цинка – на 9,2 %, железа – на 2,73 %, золота – на 3,57 %.

При переработке хвостов флотационного обогащения руды месторождения Шалкия применение модифицированного собирателя, по сравнению с базовым режимом, позволяет повысить содержание свинца в концентрате на 5,0 %. В черновом цинковом концентрате извлечение цинка повышается на 9,13 %. Расход модифицированного реагента, по сравнению с базовым собирателем снижается на 15-20 %.

Применение модифицированного собирателя повышает извлечение полезных компонентов в коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, полученный из хвостов обогащения руды Риддер-Сокольского месторождения: меди - на 2,31 %, свинца – на 9,12 %, цинка – на 4,61 %, железа – на 3,68 %, золота – на 10,74 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Чантурия Е.Л., Юшина Т.И. Технологии комплексной переработки упорных колчеданных руд и пиритных техногенных продуктов с извлечением цветных и редких металлов // Цветные металлы. – 2016. – № 9. – С. 16–21.
- 2 Кушакова Л.Б., Шумский В.А., Браилко О.Ю. Возможность извлечения попутных компонентов при переработке руд цветных металлов // Цветные металлы. – 2016. – № 9. – С. 28–34.
- 3 Шерембаева Р.Т., Омарова Н.К., Акимбекова Б.Б., Каткеева Г.Л. Использование нового флотореагента «Р» при флотации сульфидных руд // Цветные металлы. – 2014. – № 6. – С. 12–16.
- 4 Рябой В.И. Проблемы использования и разработки новых флотореагентов в России // Цветные металлы. – 2011. – № 3. – С. 7–14.
- 5 Alan N. Buckley, Gregory A. Hope, Kenneth C. Lee, Eddie A. Petrovic, Ronald Woods Adsorption of O-isopropyl-N-ethyl thionocarbamate on Cu sulfide ore minerals // Minerals Engineering. – 2014. – V. 69. – P. 120–132.
- 6 Xumeng Chen, Yongjun Peng, Dee Bradshaw The effect of particle breakage mechanisms during regrinding on the subsequent cleaner flotation // Minerals Engineering. – 2014. – V. 66–68. – P. 157–164.
- 7 Билялова С.М., Тусупбаев Н.К., Ержанова Ж.А., Мухамедилова А.М. Коллоидно-химические и флотационные характеристики полифункциональных реагентов // Комплексное использование минерального сырья. – 2017. – № 1. – С. 5–10.
- 8 Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Khachatryan L.S. Basic foundations of selection and joint application of selective collectors and flotation depressants of sulfide minerals with close

physicochemical properties // Russian Journal of Non-Ferrous metals. – 2008. – V. 49. – № 1. – P. 1–5.

9 Игнаткина В.А. Выбор селективных собирателей при флотации минералов, обладающих близкими флотационными свойствами // Известия Вузов. Цветная металлургия. – 2011. – № 1. – С. 1–7.

10 Bekturganov N.S., Tussupbayev N.K., Semushkina L.V., Turysbekov D.K. Application of multifunctional flotation reagents for processing of man-made raw materials // Materials 16th SGEM GeoConferences, – Albena, Bulgaria, 28 Jun – 7 Jul 2016. – P. 1035–1042.

11 Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К., Тусупбаев Н.К., Котова О.Б. Технологические основы переработки хвостов флотационного обогащения с применением комбинированных флотореагентов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – № 6. – С. 28–32.

12 McFadzean B., Castelyn D.G., O'Connor C.T. The effect of mixed thiol collectors on the flotation of galena // Minerals Engineering. – 2012. – V. 36–38. – P. 211–218.

13 McFadzean B., Mhlanga S. S., O'Connor C. T. The effect of thiol collector mixtures on the flotation of pyrite and galena // Minerals Engineering. – 2013. – V. 50–51. – P. 121–129.

14 Кондратьев С.А., Ростовцев В.И., Бочкарев Г.Р., Пушкарева Г.И., Коваленко К.А. Научное обоснование и разработка инновационных технологий комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 5. – С. 187–202.

15 Tussupbayev N., Semushkina L., Turysbekov D., Bekturganov N., Muhamedilova A. Modified reagents using for flotation tailings recycling // Complex Use of Mineral Resources (Комплексное использование минерального сырья). – 2017. – № 1. – С. 78–82.

REFERENCES

1 Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Chanturia E.L., Yushina T.I. *Tekhnologii kompleksnoj pererabotki upomykh kolchedannykh rud i pirinykh tekhnogenykh produktov s izvlecheniem tsvetnykh i redkikh metallov* (Technologies of complex processing persistent the pyritic of ores and pyritic technogenic products with extraction of non-ferrous and rare metals). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2016**. 9, 16–21 (in Russ.).

2 Kushakova L.B., Shumsky V. A., Braikoo Yu. *Vozmozhnost' izvlecheniya poputykh komponentov pri pererabotkerud tsvetnykh metallov* (Possibility of extraction of passing components when processing ores of non-ferrous metals). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2016**. 9, 28–34 (in Russ.).

3 Sherembayeva R.T., Omarova N.K., Akimbekova B.B., Katkeeva G.L. *Ispol'zovanie novogo flotoreagenta «R» pri flotatsii sul'fidnykh rud* (Use of the new flotoreagent "P" at flotation of sulphidic ores). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2014**. 6, 12–16 (in Russ.).

4 Ryaboj V.I. *Problemy ispol'zovaniya i razrabotki i novykh flotoreagentov v Rossii* (Problems of use and development of new flotation agents in Russia). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **2011**. 3, 7–14 (in Russ.).

5 Alan N. Buckley, Gregory A. Hope, Kenneth C. Lee, Eddie A. Petrovic, Ronald Woods Adsorption of O-isopropyl-N-ethyl thionocarbamate on Cu sulfide ore minerals. *Minerals Engineering*. **2014**. 69, 120–132 (in Eng).

6 Xumeng Chen, Yongjun Peng, Dee Bradshaw The effect of particle breakage mechanisms during regrinding on the subsequent cleaner flotation. *Minerals Engineering*. **2014**. 66–68, 157–164 (in Eng).

7 Bilyalova S.M., Tussupbayev N.K., Erzhanova Zh.A., Mukhamedilova A.M. *Kolloidno-khimicheskie i flotatsionnye kharakteristiki polifunktsional'nykh reagentov* (Colloidal and chemical and floatation characteristics of multifunctional reagents). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. **2017**. 1, 5–10 (in Russ.).

8 Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Khachatryan L.S. Basic foundations of selection and joint application of selective collectors and flotation depressants of sulfide minerals with close physicochemical properties. *Russian Journal of Non-Ferrous metals*. **2008**. 49. 1, 1–5 (in Eng).

9 Ignatkina V.A. *Vybor selektivnykh sobiratelej pri flotatsii mineralov, obladayushchikh blizkimi flotatsionnymi svoystvami* (The assortment of selective collectors at flotation of the minerals with close flotation properties) *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya metallurgiya = News of Higher education institutions. Nonferrous metallurgy*. **2011**. 1, 1–7 (in Russ.).

10 Bekturganov N.S., Tussupbayev N.K., Semushkina L.V., Turysbekov D.K. Application of multifunctional flotation reagents for processing of man-made raw materials. *Materials 16th SGEM GeoConferences*. – Albena, Bulgaria. **2016**. 1035 – 1042 (in Eng).

11 Semushkina L.V., Turysbekov D.K., Tussupbayev N.K., Kotova O.B. *Tehnologicheskie osnovy pererabotki hvostov flotacionnogo obogashheniya s primeneniem kombinirovannykh flotoreagentov* (Processing technology of flotation tailings by using combined floatation reagents) *Vestnik Instituta geologii Komi NTs UrO RAN* (The Bulletin of Institute of geology of Komi Scientific Center of the Ural Office of the Russian Academy of Sciences). **2016**. 6, 28–32 (in Russ.).

12 McFadzean B., Castelyn D.G., O'Connor C.T. The effect of mixed thiol collectors on the flotation of galena. *Minerals Engineering*. **2012**. 36–38, 211–218. (in Eng).

13 McFadzean B., Mhlanga S. S., O'Connor C. T. The effect of thiol collector mixtures on the flotation of pyrite and galena. *Minerals Engineering*. **2013**. 50–51, 121–129. (in Eng).

14 Kondratyev S.A., Rostovtsev V.I., Bochkaryov G.R., Pushkareva G.I., Kovalenko K.A. *Nauchnoe obosnovanie i razrabotka innovatsionnykh tekhnologij kompleksnoj pererabotki trudnoobogatimyykh rud i tekhnogenno go syr'ya* (Scientific substantiation and development of innovative technologies for comprehensive processing of refractory ores and technogenic raw materials). *Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki poleznykh iskopaemykh = Physics and technology problems of development of minerals*. **2014**. 5, 187–202 (in Russ.).

15 Tussupbayev N., Semushkina L., Turysbekov D., Bekturganov N., Muhamedilova A. Modified reagents using for flotation tailings recycling. *Complex Use of Mineral Resources*. **2017**. 1, 78–82 (in Eng).

ТҮЙІНДЕМЕ

Байытылған кен қалдықтарының массасы, майда ұнтақталған, минералдардың өзара қауышуына қарай біртекті, құрылымы бұзылған әрі сілтісіздендіру және т.б. үрдістерде тотығу, тат басу әсерлерінен минералдың беттік физикалық-химиялық қасиеттерінің өзгеруінен туындайды. Бір-бірінен жігі ажырайтын минералдарды таңдамалы флотациялау үшін, композицияны таңдаудың жалпы мүмкіншілігін жасау, әртүрлі ионногенді жинағыштардың қоспаларын қолдану негізіндегі реагентті режимдерді өңдеу өзекті мәселе болып табылады. Түрлендірілген флотореагенттерді қолдана отырып, Тишинка, Шалқия

және Риддер-Соколь кендерінің байытылған флотациялық қалдықтарын қайта өңдеудің мүмкіншіліктері қарастырылады. Түрлендірілген жинағыш – композиционды аэрофлот, тионокарбомат және бутил ксантогенатының қоспасынан тұрады. Композиционды аэрофлот шикізаты ретінде, сивуха майының спирттік фракциясынан кептіріліп шығатын $C_3H_7-C_6H_{13}-OH$ спирттерінің композиционды қоспасы болып табылады. Тишинка кен орнындағы кеннен байытылған флотациялық қалдықтарын қайта өңдеуде түрлендірілген жинағышты қолданғанда, бірікті концентраттағы пайдалы компоненттердің бөліп алу дәрежесін: мысты – 9,63 %; қорғасынды – 8,41 %; мырышты - 9,2 %; темірді – 2,73%; ал, алтынды – 3,57% жоғарылатты. Шалқия кен орнындағы флотациялық қалдықтардың базалық режимімен салыстырғанда, түрлендірілген жинағыш концентраттағы қорғасынның үлесін 5,0 % жоғарылатты. Тазаланбаған мырыш концентратындағы мырыштың бөліп алу дәрежесін 9,13 % арттырды. Түрлендірілген флотореагентті қолдана отырып, Риддер – Соколь кен орнындағы кеннің байытылған флотациялық қалдықтарын қайта өңдеудің тиімді технологиясы жасалынды. Демек, Риддер-Соколь кен орнындағы байытылған флотациялық қалдықтарына түрлендірілген жинағышты қолдансақ, бірікті мыс-қорғасын-мырыш концентратындағы пайдалы компоненттердің бөліп алу дәрежесін: мысты – 2,31 %; қорғасынды – 9,12 %; мырышты – 4,31 %; темірді – 3,68%; алтынды – 10,74 % жоғарылатады. Базалық жинағышпен салыстырғанда, түрлендірілген реагенттің шығыны 15–20 % төмендейді.

Түйін сөздер: флотациялық қалдықтар, бөліп алу дәрежесі, түрлендірілген реагент, флотация, концентрат.

ABSTRACT

The ores refinement tailings are represented by a fine-grained mass, without a clear structure, inhomogeneous of substantial composition, mutual intergrowth of minerals, a variability of physical and chemical properties of the mineral surfaces under the influence of oxidation, corrosion, leaching and a number of other processes. The general principles creation in order to choose the collecting agents' compositions for selective flotation of the separated minerals; the development of reagent schemes based on the use of a combination of collecting agents of a different ionogenicity remains an urgent task. A possibility of retreatment of tailings of flotation ore enrichment of Tishinsky, Shalkiinsky and Ridder-Sokolny deposits with application of a modified flotation reagent was considered. The modified collecting agent represents a mixture of compositional aerofloat, thione-carbamate and butyl xanthate. The raw materials for obtaining compositional aerofloat was a compositional mixture of $C_3H_7-C_6H_{13}-OH$ alcohols allocated from the drained alcoholic fraction of fusel oil. It has been shown that the use of a modified collecting agent when retreatment of tailings of flotation ore enrichment of the Tishinsky deposit allows to increase the extraction of useful components into the collective concentrate: copper by 9.63 %, lead by 8.41 %, zinc by 9.2 %, iron by 2.73 %, gold - by 3.57 %. The modified collecting agent, in comparison with the basic regime, allows to increase the lead content in the concentrate by 5.0% when flotation of the tailings of the Shalkiya deposit. In the rough zinc concentrate, the zinc extraction is increased by 9.13 %. An effective technology of tailings retreatment of the flotation ore enrichment of the Ridder-Sokolny deposit with the use of modified flotation reagents was developed. An application of the modified collecting agent improves the extraction of useful components in a collective copper-lead-zinc concentrate produced from the ore enrichment tailings of the Ridder-Sokolny deposit: copper by 2.31 %, lead by to 9.12 %, zinc by 4.61 % , iron by 3.68 %, gold by 10.74 %. The consumption of the modified reagent is reduced by 15-20 % compared to the basic collecting agent.

Keywords: floatation tailings, extraction, a modified reagent, flotation, concentrate.

Поступила 01.03.2018.