

ТЕХНИКА ИЛИМДЕРИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCES

*Турьсбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М.,
Мухамедилова А.М.*

**КЕНДЕРДИ БАЙЫТУУДА ЭКОЛОГИЯЛЫК
ЖАКТАН КООПСУЗ СУЛЬФИД ТҮРҮНӨ КӨЧҮРҮШ
РЕАГЕНТТЕРДИ КОЛДОНУУ**

*Турьсбеков Д.К., Семушкина Л.В., Нарбекова С.М.,
Мухамедилова А.М.*

**О ПРИМЕНЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
СУЛЬФИДИЗАТОРОВ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ РУД**

*D.Turysbekov, L. Semushkina, S. Narbekova,
A. Mukhamedilova*

**ON THE USE OF ENVIRONMENTALLY SAFE SULFIDIZATOR
IN THE BENEFICIATION OF ORES**

УДК: 622.765

Түстүү металлдардын кычкылданган жана аралаш кендери сульфиддүү кендердин кычкылдануу продуктусы болуп саналат. Кычкылданган жана аралаш коргошун-цинк кендерден коргошун минералдарын чыгаруу үчүн эң ылайыктуу жолу - аларды алдын ала сульфид түрүнө көчүрүү, андан кийин флотация жүргүзүү. Иш жүзүндө, көбүнчө сульфид түрүнө көчүрүү үчүн натрий сульфид Na_2S колдонулат. Бул макалада ууландыруучу натрий сульфиддин экологиялык жактан коопсуз целочтуу металлдардын полисульфидине алмаштырууну сунуш кылабыз. Бул реагенттерди сульфид түрүнө көчүрүүш катарында, Тишинск полиметал кенин коллективдүү байытууда текшерүү өттү. Коллективдүү, бириктешкен схемасы кабыл алынган, ал жакка - 0,074 мкм класстагы 87,5% деңгээлине чейин кенди майдалоо, негизги байытуу, контролдук байытуу жана коллективдүү, бириктешкен концентраттын үч тазартуу процесси кирет. Комплекстүү изилдөөлөрдүн негизинде базалык сульфид түрүнө көчүрүү реагенттерди полисульфидтер менен алмаштыруу мүмкүнчүлүгү аныкталды, бирок ушул реагенттерди колдонгондо флотациялык байытуу көрсөткүчтөрү өзгөрбөйт. Кальций полисульфид чыгымы базалык чыгымы менен бирдей, натрий жана калий полисульфидтердин чыгымын базалык чыгым менен салыштырганда тиешелүү 10-20% төмөндөйт.

Негизги сөздөр: байытуу, флотация, кен, технология, концентрат, күкүрт бар реагент, полиметалл рудасы.

Окисленные и смешанные руды цветных металлов являются продуктом окисления сульфидных руд. Наиболее целесообразный метод извлечения окисленных минералов свинца из окисленных и смешанных свинцово-цинковых руд – их флотация после предварительной сульфидизации. На практике в качестве сульфидизатора чаще всего используют сульфид натрия Na_2S . В работе предлагается заменить токсичный сульфид натрия экологически более безопасными полисульфидами щелочных, щелочноземельного металлов. Эти реагенты опробованы в качестве сульфидизатора при коллективной флотации полиметаллической руды Тишинского месторождения. Принята коллективная схема флотации, которая включает измельчение руды до 87,5% класса -0,074 мкм, основную, контрольную коллективную флотации и три перекистки коллективного концентрата. На основе комплексных исследований установлена возможность замены базового сульфидизатора полисульфидами металлов без снижения технологических показателей флотационного обогащения. Расход полисульфида кальция аналогичен базовому расходу, расход полисульфидов натрия и калия снижается в сравнении с базовым расходом на 10-20% соответственно.

Ключевые слова: обогащение, флотация, руда, технология, концентрат, серосодержащий реагент, полиметаллическая руда.

The oxidized and mixed ores of non-ferrous metals are oxidation product of sulphidic ores. Flotation of these ores after preliminary sulfidization is the most expedient method of extraction of oxidized minerals of lead from oxidized and mixed lead-zinc ores. In practice as a sulfidizer most often use sodium sulphide Na_2S . In this article, we propose to replace the toxic sodium sulfide with environmentally safer reagents - polysulphides of alkaline, alkaline-earth metals. These reagents are tested as a sulfidizer at collective flotation of polymetallic ore of the Tishinsky field. The collective scheme of flotation is accepted, it includes ore grinding up to 87.5 % of the class $-0.074 \mu\text{m}$, basic, control collective flotation and three cleaning operations of the collective concentrate. On the basis of complex researches the possibility of replacement of a basic sulfidizer with polysulphides of metals without decrease in technological indexes of floatation enrichment is established. The consumption of calcium polysulfide is similar to the basic consumption, the consumption of sodium and potassium polysulphides is reduced by 10-20%, respectively, in comparison with the basic consumption.

Key words: enrichment, flotation, ore, technology, concentrate, sulfur-containing reagent, polymetallic ore.

Введение.

В настоящее время в производство вовлекаются все более сложные и труднообогатимые, окисленные и смешанные руды, извлечение из таких руд минералов цветных металлов является технологической проблемой [1-4]. Одним из методов решения проблемы является изменение свойств окисленных минералов в сторону гидрофобизации поверхности, т.е. использование процесса сульфидизации, в результате которой окисленные минералы превращаются в сульфидные с гидрофобной поверхностью [5-9]. Для гидрофобизации поверхности минералов могут быть использованы серосодержащие реагенты. В качестве серосодержащих реагентов можно использовать полисульфиды щелочных и щелочно-земельных металлов, полученные на основе серы технической и оксидов данных металлов, которые позволят заменить токсичный сульфид натрия с одновременным улучшением показателей извлечения цветных металлов [10-11]. В данной работе изучена

возможность сульфидизации окисленных минералов при флотационном обогащении полиметаллической руды с использованием серосодержащих реагентов.

Методы исследований.

При проведении исследований применялись:

- рентгенофлуоресцентный анализ, проводимый на спектрометре Venus 200 PANalytical B.V.;
- рентгенофазовый анализ, проводимый на дифрактометре Advance;
- гранулометрический, химический анализы;
- флотация с использованием флотомашин ФЛ-290, ФМ-1, ФМ-2.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов.

Для исследований представлена проба полиметаллической руды Тишинского месторождения. Проведено изучение вещественного состава руды. Основными полезными компонентами в руде являются медь, свинец, цинк. Золото преимущественно связано с сульфидами, особенно тесно ассоциировано с пиритом. Руды труднообогатимые, упорные.

По результатам минералогического анализа в пробе руды Тишинского месторождения присутствуют: халькопирит CuFeS_2 , пирит FeS_2 , сфалерит ZnS , галенит PbS , кварц $\alpha\text{-SiO}_2$, кальцит CaCO_3 , хризотил $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, тальк $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4$, мусковит $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$.

Химический состав исходной пробы руды Тишинского месторождения следующий, в мас. %: Cu 0,42; Pb 0,52; Zn 3,11; Fe 6,21; S 8,2; Al_2O_3 7,74; SiO_2 54,0; CaO 2,24; MgO 8,38. Проведен гранулометрический анализ измельченной руды. Установлено, что 63,43% цветных металлов (Cu, Pb, Zn) сосредоточена во фракции $+0,074 \mu\text{m}$.

Проведены работы по отработке реагентного режима флотации руды с применением базовых реагентов. Схема флотации включает цикл коллективной флотации с получением коллективного медно-свинцового концентрата и три перерезки коллективного концентрата. Схема представлена на рисунке 1.

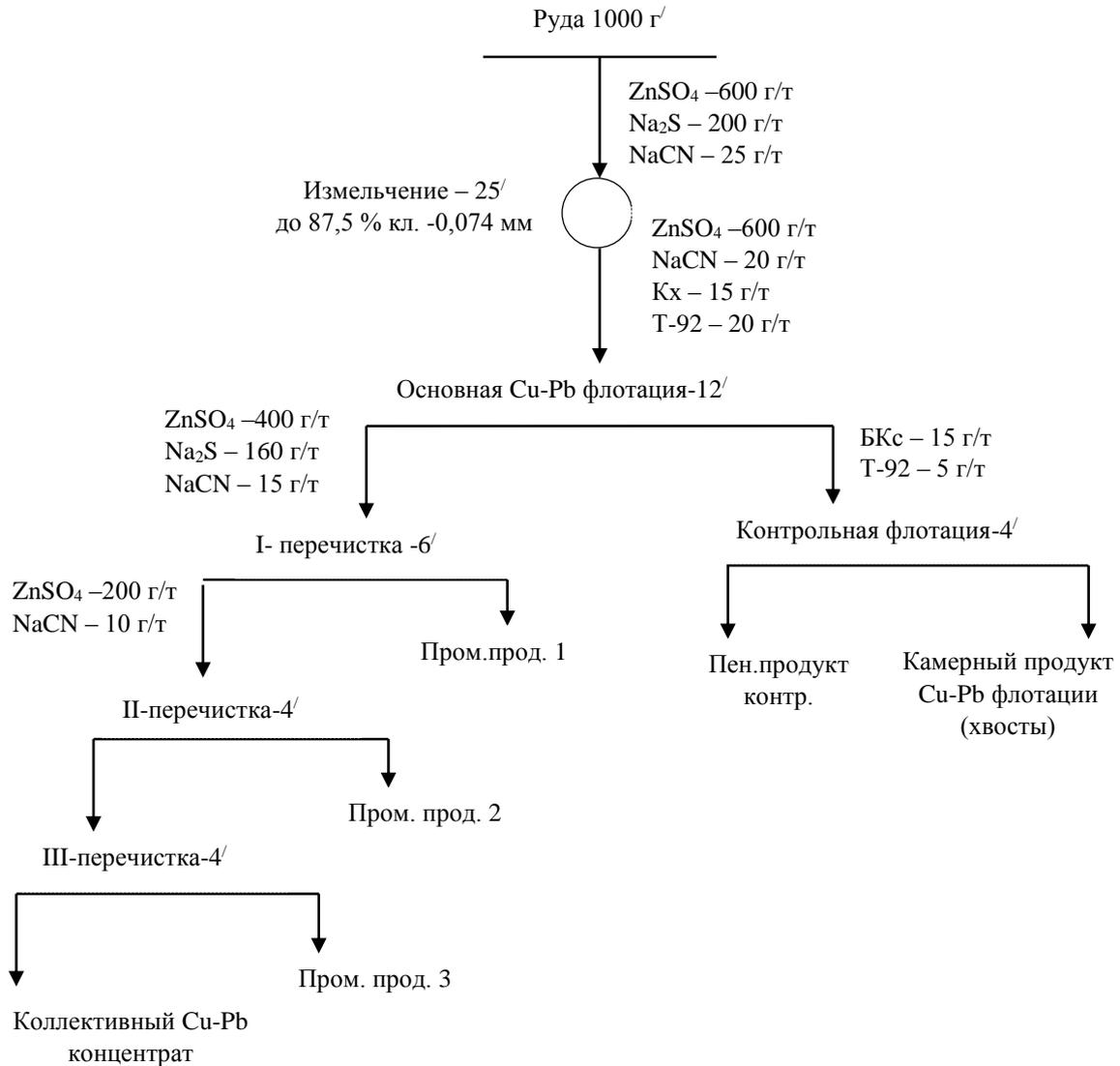


Рис. 1. Схема и реагентный режим коллективной медно-свинцовой флотации руды Тишинского месторождения.

В процесс измельчения для сульфидизации минералов подавали сульфид натрия, а для депрессии цинковых минералов и пирита цинковый купорос и цианид натрия.

Реагентный режим основной коллективной флотации следующий: для депрессии сульфидных минералов цинка и железа использовали цинковый купорос и цианид натрия; в качестве реагента-собирателя использовали бутиловый ксантогенат натрия; в качестве пенообразователя – Т-92. Время основной

коллективной флотации составило 12 минут. В основную коллективную флотацию собиратель – бутиловый ксантогенат и вспениватель – Т-92 подавали мелко несколькими порциями. Для получения более качественного коллективного концентрата в перечистные операции дополнительно подавали цинковый купорос и цианид натрия. Для доизвлечения свинцовых и медных минералов в контрольную операцию подавали собиратель и вспениватель.

Проведен подбор оптимального измельчения руды. При подборе оптимального режима измельчения степень измельчения варьировали от 85,0 до 92,5% класса -0,074 мм с интервалом 2,5%.

По результатам опытов установлено, что оптимальной степенью измельчения является 87,5% класса -0,074 мм. Проведен подбор оптимального расхода бутилового ксантогената натрия в цикле коллективной флотации. Расход реагента-собираателя варьировался от 10 до 20 г/т с интервалом 5 г/т. Результаты показали, что оптимальным расходом бутилового ксантогената в основной флотации является расход 15 г/т. Далее проведен подбор оптимального расхода пенообразователя Т-92 в цикле коллективной медно-свинцовой флотации. Расход реагента-пенообразователя варьировали от 20 до 35 г/т с интервалом 5 г/т. Определен оптимальный расход пенообразователя в коллективной флотации: 20 г/т в основную; 5 в контрольную флотацию. По

оптимальному базовому режиму получен коллективный Cu-Pb концентрат, содержащий 10,80% меди при извлечении 75,74%; 12,15% свинца при извлечении 69,43%; 7,44% цинка при извлечении 5,51%. Выход коллективного концентрата составил 2,92%. В хвосты флотации переходит 87,33 % цинка.

Далее при оптимальном базовом режиме проведены флотационные опыты с применением серо-содержащих экологически безопасных реагентов, представляющих собой полисульфиды щелочных (K, Na) и щелочноземельного (Ca) металлов. Полисульфиды MeS_n (где n составляет от 2 до 5) – сильно гигроскопичные желто-бурые кристаллы, хорошо растворимые в воде; легко окисляются на воздухе с выделением элементарной серы; их устойчивость тем ниже, чем выше содержание серы [2]. Проведен ИК-спектральный анализ базового сульфидизатора Na_2S и полисульфидов K, Na, Ca, результаты представлены на рисунке 2.

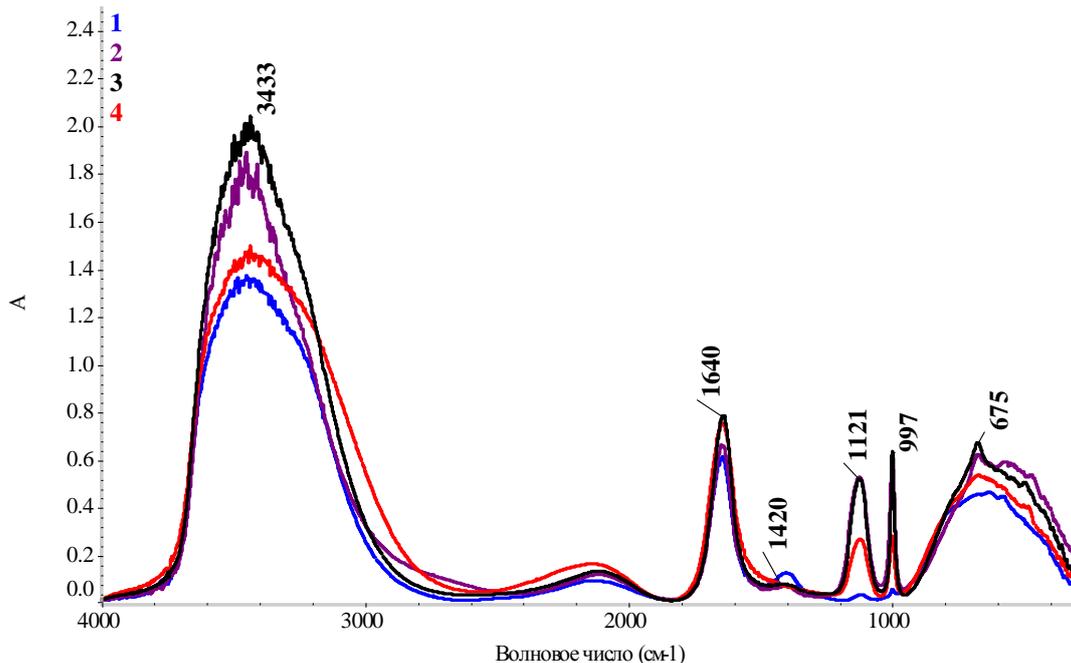


Рис. 2. Инфракрасный спектр растворов сульфида натрия и полисульфидов, снизу вверх: кривая 1 - Na_2S , 2 - CaS_n , 3 - NaS_n , 4 - KS_n .

Результаты показывают присутствие в растворах тиосульфат-ионов $S_2O_3^{2-}$ и незначительные количества карбонат-ионов CO_3^{2-} . По различиям в солевом фоне исследуемых растворов их можно расположить по активности в следующем порядке: $Na_2S \rightarrow CaS_n \rightarrow NaS_n \rightarrow KS_n$.

Схема и реагентный режим флотации анало-

гичны базовому режиму (рис. 1). Отличие от базового режима замена сульфидизатора сульфида натрия на полисульфиды, которые подаются и на стадии измельчения и в основную флотацию.

Опыты проведены по подбору оптимального расхода полисульфидов натрия, калия и кальция, причем 55% от общего расхода сульфидизатора по-

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА, № 8, 2019

дается в процессе измельчения, а 45% - при основной флотации.

Расход полисульфида натрия варьировался в интервале 280, 320, 360 г/т, расход полисульфида калия варьировался в интервале 220, 280, 360 г/т;

расход полисульфида кальция варьировался в интервале 320, 360, 400 г/т.

Оптимальные результаты флотации по базовому режиму и с применением полисульфидов в качестве сульфидизатора приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты коллективной флотации с применением базового сульфидизатора и полисульфидов

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %, г/т				Извлечение, %				Примечание
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	
Си- Рв к-т	2,92	10,8	12,15	7,44	20,59	75,74	69,43	5,51	9,83	Базовый режим, Na ₂ S - 360 г/т
Пром. пр. 3	1,08	2,06	3,51	7,01	23,44	5,34	7,42	1,92	4,14	
Пром. пр. 2	1,61	1,5	1,42	5,02	14,39	5,80	4,47	2,05	3,79	
Пром. пр. 1	4,87	0,58	1,1	1,79	8,02	6,78	10,48	2,21	6,39	
Пен. контр..	2,17	0,41	0,28	1,77	16,49	2,14	1,19	0,97	5,85	
Хвосты	87,35	0,02	0,041	3,94	4,9	4,20	7,01	87,33	70,00	
Исх. руда	100	0,42	0,51	3,94	6,11	100	100	100	100	
Си- Рв к-т	2,94	10,74	11,97	7,49	21,19	75,36	69,01	5,36	9,61	NaS _n - 320 г/т
Пром. пр. 3	1,14	2,01	3,01	6,17	24,55	5,47	6,73	1,71	4,32	
Пром. пр. 2	1,88	1,16	1,34	5,23	16,08	5,20	4,94	2,39	4,66	
Пром. пр. 1	4,31	0,58	1,2	3,19	8,41	5,97	10,14	3,35	5,59	
Пен. контр..	2,15	0,38	0,24	2,89	17,36	1,95	1,01	1,51	5,76	
Хвосты	90,52	0,028	0,046	3,89	5,02	6,05	8,17	85,68	70,07	
Исх. руда	100	0,42	0,51	4,11	6,48	100	100	100	100	
Си- Рв к-т	2,89	10,78	12,28	7,53	21,22	75,83	69,42	5,49	9,66	KS _n - 280 г/т
Пром. пр. 3	1,13	1,99	3,11	7,09	23,41	5,47	6,87	2,02	4,17	
Пром. пр. 2	1,99	1,14	1,31	5,33	15,47	5,52	5,10	2,68	4,85	
Пром. пр. 1	4,44	0,52	1,17	2,28	8,4	5,62	10,16	2,55	5,87	
Пен. контр..	2,08	0,32	0,25	2,47	16,98	1,62	1,02	1,30	5,56	
Хвосты	90,36	0,027	0,042	3,77	4,91	5,94	7,42	85,96	69,89	
Исх. руда	100	0,41	0,51	3,96	6,35	100	100	100	100	
Си- Рв к-т	2,87	10,61	12,13	7,74	21,13	75,47	69,33	5,77	9,83	CaS _n - 360 г/т
Пром. пр. 3	1,16	1,77	3,11	7,04	23,01	5,09	7,18	2,12	4,33	
Пром. пр. 2	1,7	1,21	1,37	6,02	15,82	5,10	4,64	2,66	4,36	
Пром. пр. 1	4,77	0,52	1,02	2,03	7,98	6,15	9,69	2,52	6,17	
Пен. контр.	2,07	0,29	0,26	2,01	16,47	1,49	1,07	1,08	5,52	
Хвосты	90,3	0,03	0,045	3,66	4,77	6,71	8,09	85,85	69,80	
Исх. руда	100	0,40	0,50	3,85	6,17	100	100	100	100	

Определен оптимальный расход полисульфида натрия - 320 г/т (табл. 1), при котором получен коллективный Cu-Pb концентрат, содержащий 10,74% меди при извлечении 75,36%; 11,97% свинца при извлечении 69,01%; 7,49% цинка при извлечении 5,36%. В хвосты флотации переходит 85,68% цинка.

Оптимальный расход полисульфида калия составил 280 г/т. При этом получен коллективный Cu-Pb концентрат, содержащий 10,78% меди при извлечении 75,83%; 12,28% свинца при извлечении 69,42%; 7,53% цинка при извлечении 5,49%. В хвосты флотации переходит 85,96% цинка.

Оптимальный расход полисульфида кальция составил 360 г/т, аналогичный базовому расходу. При этом получен коллективный Cu-Pb концентрат, содержащий 10,61% меди при извлечении 75,47%; 12,13% свинца при извлечении 69,33%; 7,74% цинка при извлечении 5,77%. В хвосты флотации переходит 85,85% цинка.

Выводы.

Таким образом, установлен оптимальный расход полисульфидов: 320 г/т NaS_n ; 280 г/т KS_n ; 360 CaS_n г/т. С использованием полисульфидов щелочных и щелочно-земельного металла получены результаты, аналогичные базовому режиму. Расход полисульфидов натрия и калия снижается в сравнении с расходом базового сульфидизатора на 10-20% соответственно. Расход же полисульфида кальция аналогичен расходу базового сульфидизатора. Установлено, что использование полисульфидов позволяет заменить токсичный реагент сульфид натрия.

Литература:

- 1 Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. - Москва: Изд-во. МГГУ. Т.3.- 2005. - С. 169-171.
- 2 Абрамов А.А. Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов. - Москва: Недра, 1981. - 302 с.
- 3 Глембоцкий В.А., Анфимова Е.А. Флотация окисленных руд цветных металлов. - М.: Недра, 1966. - С. 245.
- 4 Чантурия В.А., Трофимова Э.П. Переработка окисленных руд. - М.: Наука, 1985. - С. 69-71.
- 5 Шайке Ж.А., Каткеева Г.Л., Оскембеков И.М., Гизатуллина Д.Р., Акубаева М.А. Выбор оптимального режима сульфидизации окисленной медной руды // Промышленность Казахстана. - 2014. - №4. - С. 68-71.
- 6 Бектурганов Н.С., Каткеева Г.Л., Оскембеков И.М., Акубаева М.А. Применение сульфидизации при переработке окисленных медных руд Удоканского месторождения // Цветные металлы. - 2016. - №9. - С. 22-27.
- 7 Chanturiya, V.A., Kenzhaliev, B.K., Lozhnikov, S.S., Amirova, M.D., Bortsov, V.D. Improvement of mineral processing technology for the ores from sulfur-polymetallic deposits. 2005. Tsvetnye Metally. (1). - С. 16-19
- 8 Мырзалиев Б.М., Ногаева К.А., Молдобаев Э.С., Куручбек У.Ж. Разработка схемы и реагентного режима флотации руды месторождения «Джамгыр» // Журнал «Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана». 2018. - №7. - С. 35-42.
- 9 Муханова А.А., Тусупбаев Н.К., Мейманова Ж.С., Алмакучукова Г.М. Модифицированные флотореагенты для интенсификации флотации полиметаллической руды Артемьевского месторождения // Журнал Известия вузов Кыргызстана. - 2017. - №3. - С. 14-18.
- 10 Tussupbayev T.K., Mukhanova A.A., Narbekova S.M., Semushkina L.V., Turysbekov D.K. Application of polysulphide of calcium as sulfidizing agent at flotation of the oxidized lead-bearing ores // Complex use of mineral resources. - №4. - 2016. - С.12-16.
- 11 Тусупбаев Н.К., Муханова А.А., Сычева Е.С., Семушкина Л.В., Турысбеков Д.К. Разработка способа получения сульфидизатора полисульфида кальция и исследование возможности флотационного обогащения окисленных руд с его применением // Вестник КазНАЕН. - 2016. - №1. - С. 50-55.