

# ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.765.06:553.441

Комплексное использование  
минерального сырья № 2. 2015

*Н. К. ТУСУПБАЕВ, Л. В. СЕМУШКИНА\*, Д. К. ТУРЫСБЕКОВ,  
А. А. МУХАНОВА, Ж. А. ЕРЖАНОВА*

*АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения»,  
Алматы, \*syomushkina.lara@mail.ru*

## ОЦЕНКА ДЕПРЕССИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ГАЛЕНИТ

Проведены исследования по влиянию различных видов ферромагнитных материалов (природный ПФМ, порошкообразный ПКФМ, наноразмерный НФМ) в качестве депрессора галенита, в сравнении с сульфитной технологией разделения коллективного медно-свинцового концентрата. Исследования по использованию предлагаемых ферромагнитных материалов были проведены на коллективном медно-свинцовом концентрате, полученном из руды Артемьевского месторождения, содержащем, %: 16,3 меди, 25,1 свинца, 6,2 цинка. Показано, что ферромагнитные материалы заменяют большие расходы железного купороса и сульфита натрия в цикле селекции. Наилучшие результаты достигнуты с использованием НФМ. Пробы НФМ исследовались на электронном микроскопе. После расчета РЭМ-снимка при увеличении X2000 обнаружен факт наличия 2-х пиков распределения частиц по размерам: 35 % 0,02 мкм (20 нм) и 17 % 0,1 мкм (100 нм). При этом путем диспергирования удалось получить НФМ с содержанием наноразмерных частиц не более 52 %. При оптимальном расходе НФМ 150 г/т коллективного концентрата получен медный концентрат с содержанием меди 28,6 % при извлечении 71,5 % и свинцовый концентрат с содержанием свинца 45,3 % при извлечении 85,3 %. Содержание свинца в медном концентрате и меди в свинцовом концентрате не превышает 5 %. При этом расход НФМ в 10-20 раз меньше, чем ПКФМ. Показана возможность замены традиционного пенообразователя Т-80 в цикле селекции коллективного медно-свинцового концентрата на новый синтезированный сульфгидрильный пенообразователь КСК-6 тетрагидропиранового ряда, полученный через образование алкоголятов соответствующих спиртов. Обнаруженные собираемые свойства КСК-6 приводят к сокращению расхода бутилового ксантогената при флотации на 30 %.

**Ключевые слова:** депрессор, ферромагнитный материал, пенообразователь, селекция, флотация, извлечение, концентрат.

**Введение.** Технологические показатели флотации зависят от качества и ассортимента используемых флотореагентов. В связи с этим получение и применение новых флотореагентов, позволяющих эффективно перерабатывать сложное полиметаллическое сырье, является весьма актуальной задачей обогащения руд цветных металлов. В настоящее время для разделения коллективного медно-свинцового концентрата существует несколько распространенных методик, промышленное применение среди которых нашли только цианидная и сульфитная технологии [1-3]. Существующие методы селективного разделения коллективного медно-свинцового концентрата не удовлетворяют требованиям комплексного использования сырья и экологической безопасности. Цианидная техно-

логия является экологически нецелесообразной, а при сульфитном методе селекции отмечается большой расход сульфита натрия (3-4 кг/т) и железного купороса (5-6 кг/т). Поэтому исследования, направленные на применение бесцианидной технологии разделения коллективного медно-свинцового концентрата на основе нового депрессора галенита, позволяющего сократить расход дорогостоящих реагентов и получить при этом высококачественные разноименные концентраты с их высоким извлечением, являются актуальными и экономически целесообразными. Показана возможность замены традиционного пенообразователя Т-80 в цикле селекции коллективного медно-свинцового концентрата на новый синтезированный флотореагент КСК-6.

**Материалы и методы.** В качестве депрессора галенита применяли 3 разновидности ферромагнитного материала: природный ПФМ, порошкообразный ПКФМ, наноразмерный ферромагнитный материал НФМ. НФМ был получен путем диспергирования порошкообразного ферромагнитного материала ультразвуком с последующей стабилизацией поверхностно-активными веществами.

Использован метод получения сульфидных пенообразователей тетрагидропиранового ряда КСК-п, протекающий через образование алкоголятов соответствующих спиртов.

В качестве материала для испытания нового пенообразователя и депрессора галенита применялась полиметаллическая руда Артемьевского месторождения (Казахстан). Подготовка руды включала дробление (лабораторная щековая дробилка ДМД 160/100 (Кыргызстан), валковая дробилка) и измельчение (шаровая мельница 40МЛ-000ПС (Россия)).

**Методы исследования.** Для определения физико-химических свойств предлагаемого реагента применены методы измерения поверхностного натяжения (тензиометр К 20S, KRUSS (Германия), электрокинетического потенциала (потенциостат AutoLab PGSTAT302), краевого угла смачивания.

С целью изучения вещественного состава руды использованы минералогический, спектральный, рентгенофазовый, химический методы анализа. При выполнении анализов было задействовано следующее оборудование:

1. Электронный растровый микроскоп с анализатором JEOL JXA-8230 (JEOL, Япония);
2. Последовательный атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Optima 2000 DV («Perkin Elmer Inc.», США);
3. Рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE;
4. ИК-Фурье спектрометр Thermo Nicolet Avatar 370 FTIR Spectrometer.

Подготовка проб к анализам осуществлялась при помощи механического истирателя ММ-1 (Россия); планетарной монмельницы «Пульверизетте 6 Fritsch GmbH» (Германия); вибрационной монмельницы «pulverisette О» фирмы «FRITISCH» (Германия).

Исследования по флотации проведены на лабораторных флотационных машинах ФЛ-290, ФМ-1, ФМ-2 (Россия) с объемом флотационных камер 3; 1,5; 1,0; 0,5; 0,25 л.

## Экспериментальная часть и обсуждение результатов.

Таблица 1 – Результаты депрессии галенита в присутствии природного ферромагнитного материала различного вида и состава при различных рН среды

рН среды	Природный ферромагнитный материал		
	№ 1	№ 2	№ 3
	Выход галенита, %		
5,0	71,2	70,6	71
5,5	18,1	20,3	25,1
6,0	17,5	21,1	25,7
6,5	62,9	65,8	66,4
7,0	72,8	73,6	73,9
8,0	77,6	75,7	76,9
10,0	66,7	69,5	65,9
12,0	63,1	62,5	64,9

ного ферромагнитного материала на мономинеральную флотацию галенита применялись ПФМ различного вида и состава: № 1, № 2, № 3 (таблица 1). Из таблицы 1 видно, что наилучшие результаты по депрессии галенита были получены при применении ПФМ № 1 (бариевый феррит). Поэтому дальнейшие исследования влияния ПФМ на флотуемость сульфидных минералов меди и свинца проводились

только в присутствии ПФМ № 1.

При флотуемости сульфидных минералов большую роль играет время перемешивания в присутствии ПФМ. Агитацию с ПФМ перед проведением флотации галенита проводили в течение 1, 3, 5, 10 мин. Результаты флотуемости галенита в присутствии ПФМ № 1 при разных значениях рН среды и времени перемешивания приведены на рисунке 1. Установлено, что оптимальное время агитации перед мономинеральной флотацией галенита составляет 5 мин. При этом выход галенита в узком интервале рН среды от 5,5 до 6,0 равен 18,1-17,5 %.

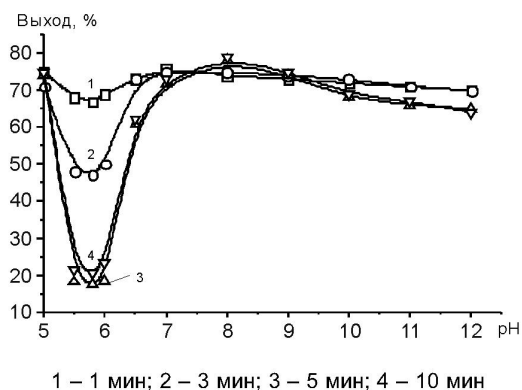
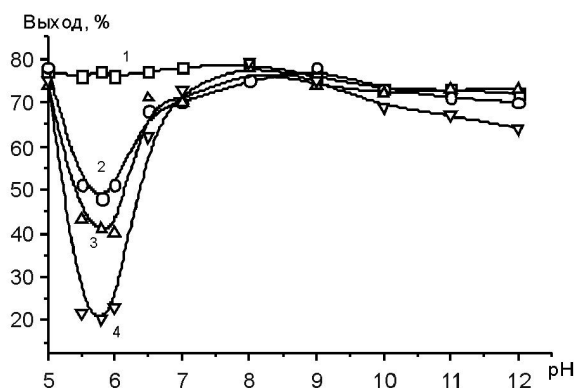


Рисунок 1 – Влияние времени агитации в присутствии ПФМ № 1 на флотуемость галенита при различных значениях рН среды

Далее проведены исследования по влиянию площади поверхности ПФМ № 1 на флотационную способность галенита. При флотации галенита были применены ПФМ с площадью поверхности 3,0; 7,0; 15,0 и 30,0 см<sup>2</sup>. Результаты флотации приведены на рисунке 2.

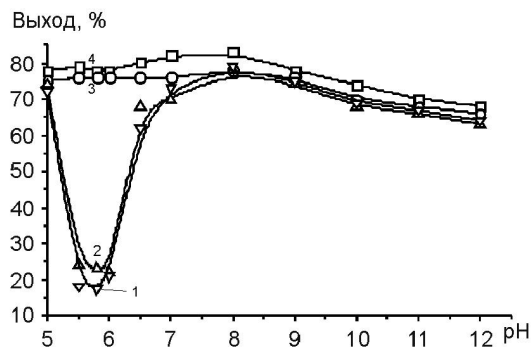


1 – 3,0 см<sup>2</sup>; 2 – 7,0 см<sup>2</sup>; 3 – 15,0 см<sup>2</sup>; 4 – 30,0 см<sup>2</sup>

Рисунок 2 – Влияние площади поверхности ПФМ на флотуемость галенита при различных значениях pH среды

В ходе анализа полученных результатов по определению влияния площади поверхности ПФМ на флотацию галенита при различных pH среды установлено, что ПФМ № 1 с максимальной площадью поверхности 30 см<sup>2</sup> обеспечивает наилучшую депрессию галенита в узком интервале pH среды от 5,5 до 6,0 с выходом его от 18,1 до 17,5 %. Это показывает, что поверхность ПФМ воздействует на депрессию галенита при мономинеральной флотации только в узком интервале значений pH среды, а в широком – от 7,0 до 12,0 особого влияния не имеет.

Для изучения селективного воздействия ПФМ на поверхность сульфидных минералов меди и свинца были проведены опыты по флотуемости галенита и халькопирита на основе сульфитной технологии (с железным купоросом и сульфитом натрия) и с применением ПФМ № 1. Результаты, приведенные на рисунке 3, показывают, что по сравнению с сульфитной технологией депрессия галенита в присутствии ПФМ является более эффективной, так как в узком интервале pH среды 5,5-6,0 наблюдается уменьшение выхода галенита от 7,9 до 5,5 %. Кроме того, в присутствии ПФМ имеет место более активная флотуемость халькопирита по сравнению с сульфитной технологией. Увеличивается выход халькопирита от 0,9 до 2,8 %.

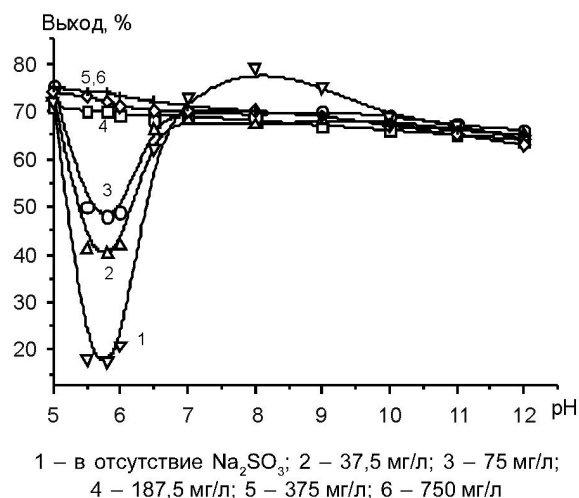


1 – галенит в присутствии ПФМ; 2 – галенит по сульфитной технологии; 3 – халькопирит по сульфитной технологии; 4 – халькопирит в присутствии ПФМ

Рисунок 3 – Влияние ПФМ и сульфитной технологии на флотуемость галенита и халькопирита при различных значениях pH среды

Как известно, в качестве депрессоров галенита при разделении коллективного медно-свинцового концентрата по сульфитной технологии в интервале pH 5,6-5,8 совместно с железным купоросом FeSO<sub>4</sub> применяется сульфит натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> с расходом 3-4 кг/т. В связи с этим были проведены исследования по замене железного купороса на ПФМ № 1, имеющим в своем составе ионы железа, при мономинеральной флотации галенита в присутствии сульфита натрия с расходом 150 (37,5 мг/л), 300 (75 мг/л), 750 (187,5 мг/л), 1500 (375 мг/л), 3000 (750 мг/л) г/т концентрата. Результаты по замене железного купороса на ПФМ № 1 при мономинеральной флотации галенита приведены на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что в процессе мономинеральной флотации при pH 5,5-6,0 выход гале-



1 – в отсутствие Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; 2 – 37,5 мг/л; 3 – 75 мг/л; 4 – 187,5 мг/л; 5 – 375 мг/л; 6 – 750 мг/л

Рисунок 4 – Влияние количества сульфита натрия на флотуемость галенита в присутствии ПФМ при различных значениях pH среды

нита в присутствии только ПФМ № 1 составил 17,5-18,1 %. При совместной же подаче сульфита натрия с ПФМ результаты по выходу галенита при рН среды 5,5-6,0 составили 41,5-69,7 %. Следовательно наилучшие результаты по депрессии галенита в узком интервале рН могут быть достигнуты без подачи сульфита натрия в присутствии только ПФМ.

Исследования по использованию предлагаемого ПФМ были проведены также на коллективном медно-свинцовом концентрате, полученном из руды Артемьевского месторождения состава, %: 16,3 меди, 25,1 свинца, 6,2 цинка. Медные и свинцовые минералы в концентрате представлены в основном халькопиритом и галенитом.

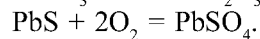
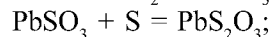
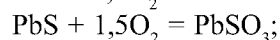
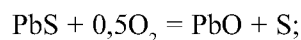
В настоящее время переработка руды Артемьевского месторождения осуществляется на Зыряновской обогатительной фабрике по технологии, предусматривающей селекцию медно-свинцового концентрата с применением бихромата калия (хромпиковая технология).

Для сравнения нами была проведена селекция коллективного медно-свинцового концентрата по сульфитной технологии и предлагаемому способу селекции в присутствии ПФМ. Получены следующие результаты: по сульфитной технологии содержание меди в медном концентрате и его извлечение составило соответственно 26,7 и 88,8 %; содержание свинца в свинцовом концентрате и его извлечение соответственно 41,1 и 30,2 %.

По предлагаемому способу селекции в присутствии ПФМ содержание меди в медном концентрате составило 30,8 % при извлечении 82,4 %; содержание свинца в свинцовом концентрате – 51,08 % при извлечении 74,0 %. Сравнительный анализ результатов сульфитной и предлагаемой технологии показал, что с применением ПФМ улучшено качество медного концентрата на 4,1 %, свинцового концентрата – на 9,98 %. Кроме того, в отличие от сульфитного способа в предлагаемом способе селекции отсутствует контрольная флотация.

Влияние ПФМ на процесс разделения медно-свинцового концентрата можно описать следующим образом. При столкновении частиц минерала с поверхностью ПФМ, сконцентрировавшего вокруг себя кислород, происходит одновременный контакт системы: растворенный кислород – частицы сульфидного минерала – катализирующий агент-ПФМ, где протекает окислительно-восстановительная реакция, в результате которой происходит гидрофилизация

(депрессия) свинцового минерала. При этом депрессия галенита в присутствии ПФМ может идти по следующим реакциям:



Эти реакции обычно идут в слабокислой среде (5,5-6,0). Следует отметить, что из этих соединений более устойчивыми и труднорастворимыми являются  $\text{PbO}$  и  $\text{PbS}_2\text{O}_3$ , что касается соединения  $\text{PbSO}_4$ , то оно образуется при сильном окислении, поэтому его содержание на поверхности галенита наверняка будет незначительным. С другой стороны, анионы атома кислорода  $\text{O}^{2-}$  и тиосульфата  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  не способны обмениваться на ионы ксантогената. Поэтому депрессия галенита в указанной среде в присутствии ПФМ может быть обусловлена покрытием его поверхности труднорастворимыми и гидрофильными соединениями  $\text{PbO}$  и  $\text{PbS}_2\text{O}_3$ . Ухудшение селекции при дальнейшем увеличении рН может быть связано с усилением окислительной способности ПФМ. В самом деле, в результате окисления с помощью ПФМ на поверхности галенита образуются смешанные поверхностные соединения типа «сульфидо-сульфатов», сульфат-анион которых способен обмениваться на ион ксантогената. В результате на поверхности образуются сульфидо-ксантогенаты, обеспечивающие необходимую для флотации гидрофобизацию поверхности. При этом смешанные поверхностные соединения сульфидо-ксантогенаты прочно связаны с кристаллической решеткой минерала.

Проведены исследования по изучению возможности селекции коллективного медно-свинцового концентрата, полученного из руды Артемьевского месторождения, в присутствии порошкообразного ферромагнитного материала (ПКФМ) [5,6]. Порошкообразный ферромагнитный материал был получен из  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , взятых в соотношении 4:1, при температуре 70 °С в присутствии 15 %-ного раствора аммиака. Коллективный медно-свинцовый концентрат, содержащий 14-16 % меди и 23-25 % свинца при извлечении меди и свинца 70-75 %, подвергался селективному разделению на медный и свинцовый концентраты. Содержание цинка в медно-свинцовом концентрате составляло 7-9 %.

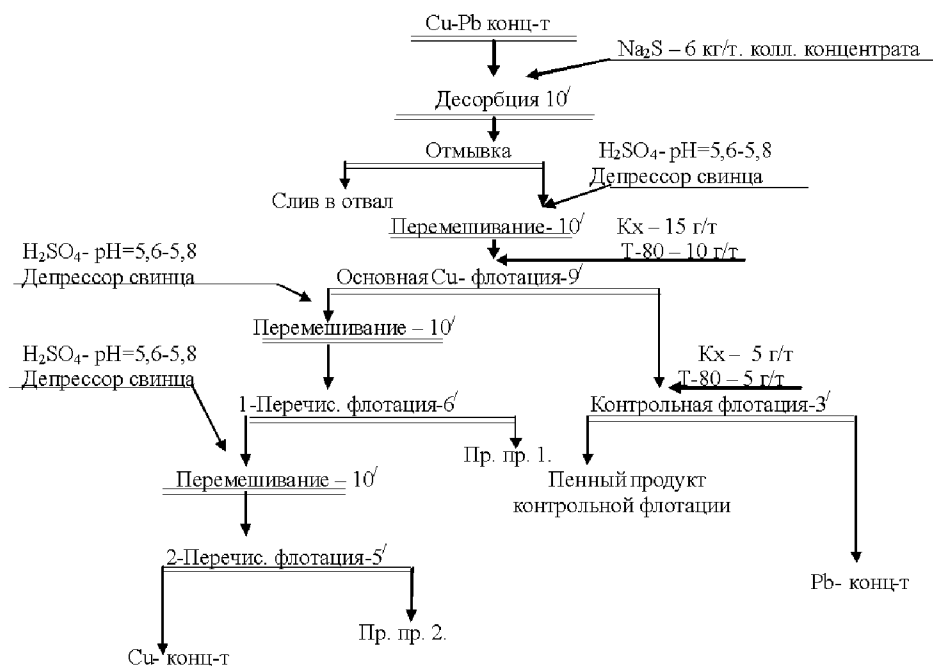


Рисунок 5 – Схема селективной флотации медно-свинцового концентрата

Схема селективной флотации медно-свинцового концентрата представлена на рисунке 5.

Коллективный концентрат после десорбции сернистым натрием подвергался обработке серной кислотой в узком интервале pH среды (5,6-5,8) в присутствии ПКФМ в течение 10 мин во флотокамере лабораторной флотационной машины. Схема селективной флотации включала в себя основную медную флотацию, 2 перечистки и контрольную флотацию. Были проведены опыты для определения оптимального расхода собирателя и вспенивателя в цикле селективной флотации. В основную медную флотацию подавали бутиловый ксантогенат – 10 г/т и вспениватель Т-80 – 5 г/т. В контрольную флотацию подавали бутиловый ксантогенат – 5 г/т и вспениватель Т-80 – 5 г/т. Перечистки проводились в присутствии ПКФМ. Расход ПКФМ меняли от 200 до 5000 г/т. Выполнены опыты по определению влияния pH среды на селекцию медно-свинцового концентрата в присутствии ПКФМ. Изменение pH среды проводили в пределах 5,6-8,5. Оптимальным значением pH среды при разделении коллективного медно-свинцового концентрата с применением ПКФМ в данном реагентном режиме является 5,6-6,5. Оптимальным расходом ПКФМ – 3000 г/т.

В результате селективной флотации с применением ПКФМ был получен медный концентрат с содержанием меди 30,8 %, свинца – 5,3 % при извлечении

меди и свинца, соответственно 82,4 и 8,5 % и свинцовый концентрат с содержанием свинца – 51,0 %, меди 1,58 % при извлечении свинца и меди, соответственно 74,1 и 3,8 %. Содержание цинка в медном концентрате составило 2,41 %, содержание цинка в свинцовом концентрате – 9,4 % [7,8].

Использование ПКФМ при разделении медно-свинцового концентрата позволяет исключить из процесса флотации железный купорос и сульфит натрия. Полученные результаты свидетельствуют,

что применение ПКФМ существенно улучшает показатели селективного разделения коллективного медно-свинцового концентрата на медный и свинцовый концентраты по сравнению с сульфитной технологией.

Далее проводились исследования с применением нового сульфгидрильного пенообразователя КСК-6 в селективном цикле флотации. Были определены оптимальные расходы бутилового ксантогената Т-80 и КСК-6. Перечистки проводились в присутствии ПКФМ. Все операции проводились при pH 5,6-6,5. Результаты флотационных опытов цикла селективной флотации медно-свинцового концентрата с применением Т-80 и КСК-6 в присутствии ПКФМ представлены в таблице 2. Результаты опытов в цикле селективной флотации медно-свинцового концентрата демонстрируют возможность замены традиционного пенообразователя Т-80 на новый синтезированный флотореагент КСК-6. Расход ПКФМ в цикле селективной флотации составил 3 кг/т коллективного концентрата. Из-за того, что КСК-6 обладает частично собирательными свойствами, расход бутилового ксантогената сокращается на 30 %. При использовании Т-80 с расходом 10 г/т и бутилового ксантогената – 15 г/т медный концентрат содержит 30,8 % меди; 5,3 % свинца при извлечении меди 82,4 %. В свинцовом концентрате содержание свинца составляет 51,08 %, содержание меди – 1,57 % при извлечении 74,0 % свинца.

Таблица 2 – Результаты флотационных опытов по разделению медно-свинцового концентрата с применением Т-80 и КСК-6 (в цикле селекции) в присутствии ПКФМ

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %				Примечание
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	
Си концентрат	43,1	<b>30,8</b>	<b>5,3</b>	2,41	26,51	<b>82,4</b>	8,5	16,6	63,4	БКс-15 г/т Т-80-10 г/т
Пром. прод. 2	5,75	18,3	18,8	8,6	20,32	6,5	3,8	7,7	6,4	
Пром. прод. 1	11,6	10,1	32,2	9,1	15,1	7,3	13,6	17,0	9,8	
Pb концентрат	39,55	<b>1,58</b>	<b>51,08</b>	9,4	9,3	3,8	<b>74,1</b>	58,7	20,4	
Исх. кол. к-т	100,0	16,13	27,2	6,27	18,06	100,0	100,0	100,0	100,0	
Си концентрат	47,4	<b>31,41</b>	<b>3,8</b>	0,96	28,1	<b>85,7</b>	6,7	10,4	70,7	БКс –15 г/т КСК-6-10 г/т
Пром. прод. 2	5,3	18,08	15,19	5,81	20,5	5,3	3,1	6,9	5,7	
Пром. прод. 1	9,3	8,5	37,4	6,8	13,4	4,6	12,8	14,2	6,5	
Пен.контр. фл.	2,8	9,71	36,7	7,3	13,5	1,6	4,1	4,9	2,1	
Pb концентрат	35,2	<b>1,4</b>	<b>55,5</b>	8,1	8,1	2,8	<b>73,3</b>	63,6	15,0	
Исх. кол. к-т	100,0	17,4	26,7	4,4	18,8	100,0	100,0	100,0	100,0	
Си концентрат	49,14	<b>31,0</b>	<b>2,7</b>	2,0	27,4	<b>83,9</b>	5,2	19,4	73,5	БКс –10 г/т КСК-6 –7 г/т
Пром. прод. 2	5,59	18,6	18,2	7,4	19,9	5,7	4,0	8,1	6,0	
Пром. прод. 1	9,77	7,6	41,8	8,1	11,2	4,1	16,2	15,4	5,9	
Pb концентрат	35,5	<b>3,19</b>	<b>53,0</b>	8,0	7,5	6,3	<b>74,6</b>	57,1	14,6	
Исх. кол. к-т	100,0	18,15	25,2	5,06	18,38	100,0	100,0	100,0	100,0	

При применении вместо Т-80 – КСК-6 с расходом 7 г/т и бутилового ксантогената 10 г/т медный концентрат содержит 31 % меди; 2,7 % свинца при извлечении 83,9 % меди. В свинцовом концентрате содержание свинца составляет 53,0 %, содержание меди – 3,19 % при извлечении 74,6 % свинца (таблица 2).

Далее сделана попытка использовать в качестве депрессора галенита наноразмерный ферромагнитный материал (НФМ). Пробы НФМ исследовались на электронном микроскопе. Пробы размещались на двусторонней клейкой электропроводящей углеродной ленте фирмы NISSHIN EM Co. LTD. После расчета РЭМ-снимка при увеличении X2000 обнаружен факт наличия 2-х пиков распределения частиц по размерам: 35 % 0,02 мкм (20 нм) и 17 % 0,1 мкм (100 нм). При этом путем диспергирования удалось получить НФМ с содержанием наноразмерных частиц не более 52 %.

Определение оптимальных условий селекции коллективного медно-свинцового концентрата с применением полученного НФМ проводилось на полиметаллической руде Артемьевского месторождения. Перед селекцией коллективный медно-свинцовый концентрат подвергался десорбции сернистым натрием. Расход сернистого натрия составлял 6 кг/т. Схема селекции включала в себя основную медную флотацию, контрольную флотацию и две перемешки медного

концентрата. После десорбции проводилась обработка коллективного концентрата в присутствии депрессора галенита НФМ при различном его расходе и разном рН среды. Основную медную флотацию проводили в течение 9 мин и использовали в качестве собирателя бутиловый ксантогенат; вспениватель – Т-80. В первую и вторую перемешку медного концентрата подавали новый НФМ при рН 5,6-6,5. В контрольную медную флотацию подавали собиратель и вспениватель для доизвлечения медных минералов. Результаты селективной флотации коллективного медно-свинцового концентрата с использованием разного расхода депрессора галенита НФМ представлены в таблице 3.

Как видно из представленных данных, оптимальный расход нового депрессора галенита для наилучшего разделения меди и свинца – 150 г/т коллективного концентрата. При этом получен медный концентрат с содержанием 28,6 % меди при извлечении 71,5 % и свинцовый концентрат с содержанием 45,3 % свинца при извлечении 85,3 %. Содержание свинца в медном концентрате и меди в свинцовом концентрате не превышает 5 %. Анализ проведенных лабораторных исследований показал, что введение во флотационный процесс нового НФМ позволяет улучшить селекцию коллективного медно-свинцового концентрата. При этом существенно (в 10-20 раз) сокращается его расход, по срав-

Таблица 3 – Результаты селективной флотации коллективного медно-свинцового концентрата с использованием ферромагнитного наномодификатора

Наименование продуктов	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %				Примечание
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	
Си концентрат	30,2	27,1	6,0	6,1	29,2	68,2	9,0	15,5	45,6	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> – 6 кг/т 3 кг/т FeSO <sub>4</sub> – Сульфитная технология
Pb концентрат	38,9	3,6	41,2	18,6	15,3	11,7	79,4	61,0	30,8	
Пром. прод. 2	5,59	9,8	6,9	10,6	16,4	4,6	1,9	5,0	4,7	
Пром. прод. 1	13,3	9,0	9,1	8,4	15,8	10,0	6,0	9,4	10,9	
Пен.контр.фл.	12,0	5,5	6,3	8,9	12,9	5,5	3,8	9,0	8,0	
Исх. кол. к-т	100	11,9	20,2	11,9	19,3	100	100	100	100	
Си концентрат	19,6	26,0	8,1	5,5	26,1	43,9	8,0	8,7	28,8	Расход НФМ 100 г/т
Pb концентрат	45,4	8,6	27,4	14,3	12,3	33,6	62,9	52,6	31,4	
Пром. прод. 2	1,88	12,4	13,3	9,65	24,7	2,0	1,3	1,5	2,6	
Пром. прод. 1	22,8	7,3	16,1	12,8	22,5	14,3	18,5	23,6	28,8	
Пен.контр.фл.	10,2	7,05	17,8	16,5	14,5	6,2	9,2	13,7	8,3	
Исх. кол. к-т	100	11,6	19,9	12,4	17,8	100	100	100	100	
Си концентрат	29,6	28,6	4,9	4,7	30,3	71,5	6,9	12,7	48,0	Расход НФМ 150 г/т
Pb концентрат	39,3	5,0	45,3	10,8	11,6	16,6	85,3	38,6	24,4	
Пром. прод. 2	7,27	5,3	4,1	13,6	21,6	3,3	1,4	9,0	8,4	
Пром. прод. 1	15,5	3,6	5,2	16,8	16,3	4,7	3,9	23,7	13,5	
Пен.контр.фл.	8,32	5,6	6,3	21,1	12,9	3,9	2,5	16,0	5,7	
Исх. кол. к-т	100	11,8	20,9	11,0	18,7	100	100	100	100	
Си концентрат	25,4	24,6	8,6	6,5	27,3	55,3	10,4	14,0	37,9	Расход НФМ 200 г/т
Pb концентрат	43,2	5,9	37,6	12,1	16,2	22,6	77,8	44,3	38,3	
Пром. прод. 2	7,17	13,2	9,3	11,9	17,9	8,4	3,2	7,2	7,0	
Пром. прод. 1	11,7	5,35	8,7	14,1	13,1	5,6	4,9	14,0	8,4	
Пен.контр.фл.	12,5	7,3	6,1	19,3	12,3	8,1	3,6	20,4	8,4	
Исх. кол. к-т	100	11,3	20,9	11,8	18,3	100	100	100	100	
Си концентрат	24,1	26,4	10,3	7,7	30,1	54,4	11,7	15,8	39,0	Расход НФМ 300 г/т
Pb концентрат	39,7	8,1	34,3	13,6	15,8	27,5	64,5	46,0	33,8	
Пром. прод. 2	10,8	7,7	11,4	10,9	13,5	7,1	5,8	10,0	7,8	
Пром. прод. 1	14,4	5,5	13,6	14,2	15,2	6,8	9,3	17,4	11,7	
Пен.контр.фл.	11,1	4,4	16,5	11,4	12,9	4,2	8,7	10,8	7,7	
Исх. кол. к-т	100	11,6	21,1	11,7	18,6	100	100	100	100	

нению с ПКФМ, что подтверждает экономическую целесообразность предлагаемого технологического режима.

**Выводы.** Исследования по влиянию различных видов ферромагнитных материалов (природный ПФМ, порошкообразный ПКФМ, наноразмерный НФМ) в качестве депрессора галенита, в сравнении с сульфитной технологией разделения коллективного медно-свинцового концентрата, показали, что ферромагнитные материалы заменяют большие расходы железного купороса и сульфита натрия в цикле селекции.

Наилучшие результаты достигнуты с использованием НФМ, который позволил при оптимальном расходе НФМ 150 г/т коллективного концентрата получить медный концентрат с содержа-

нием 28,6 % меди при извлечении 71,5 % и свинцовый концентрат с содержанием 45,3 % свинца при извлечении 85,3 %. Содержание свинца в медном концентрате и меди в свинцовом концентрате при этом не превышает 5 %. Расход НФМ, в сравнении с ПКФМ, сокращается в 10-20 раз.

Исследования по применению нового сульфгидрильного пенообразователя тетрагидропиранового ряда КСК-6 в цикле разделения коллективного медно-свинцового концентрата показали возможность полной замены традиционного пенообразователя Т-80. Так как КСК-6 обладает частично собирательными свойствами, расход бутилового ксантогената при флотации сокращается на 30 %.



## ЛИТЕРАТУРА

1 Кошербаев К.Т. Технология селективной флотации минералов из коллективных сульфидных концентратов // Труды КазПТИ. Metallurgy and metallovedeniye. – Алма-Ата: КазПТИ, 1975. – Вып. 2. – С. 114-119.

2 Кошербаев К.Т., Брисман Б.Ш. К вопросу изучения флотуемости сульфидов под воздействием сернокислого железа и сульфит иона // Труды КазПТИ. Metallurgy and metallovedeniye – Алма-Ата: КазПТИ, 1974. – С. 18-20.

3 Бакинов К.Г. Исследование устойчивости системы  $Fe^{2+}-SO_3^{2-}$ , применяемой для селекции сульфидов // Цветные металлы. – 1974. – № 7. – С. 93-96.

4 Тусупбаев Н.К. О возможном механизме депрессии галенита с помощью парамагнитного материала // Комплексное использование минерального сырья. – 2008. – № 6. – С. 49-55.

5 Предпатент 20209 РК. Способ разделения медно-свинцового концентрата / Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Муханова А.А., Қалдыбаева Ж.А.; опубл. 17.11.2008. Бюл. № 11. – 6 с.

6 Бектурганов Н.С., Тусупбаев Н.К., Турысбеков Д.К., Семушкина Л.В., Муханова А.А. Влияние парамагнитных материалов на селекцию коллективного медно-свинцового концентрата // Цветные металлы. – 2010. – № 4. – С. 26-28.

7 Тусупбаев Н.К., Семушкина Л.В., Ержанова Ж.А., Билялова С.М. Новый парамагнитный депрессор для селекции медно-свинцового концентрата полиметаллической руды Артемьевского месторождения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург. Россия, 2010. – С. 166-169.

## REFERENCES

1 Koshierbaev K.T. *Tekhnologiya selektivnoy flotatsii mineralov iz kollektivnykh sulfidnykh kontsentratsionov* (The technology of mineral selective flotation from collective sulfide concentrates). *Materials of*

*KazNTU, Metallurgy and Metallography*. 1975, V. 2. 114-119 (in Russ.).

2 Koshierbaev K.T., Briskman B.Sh. *K voprosu izucheniya flotiruемости sulfidov pod vozdeystviem sernokislogo zheleza i sulfita iona* (On question of sulphide flotability studying under influence of sulfuric iron and sulphite ion). *Materials of KazNTU, Metallurgy and Metallography*, 1974, 18-20 (in Russ.).

3 Bakinov K.G. *Issledovanie ustojchivosti sistemy  $Fe^{2+}-SO_3^{2-}$ , primenyaemoj dlya seleksii sulfidov* (Investigation of stability of  $Fe^{2+}-SO_3^{2-}$  system using for sulphides selection). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*, 1974, 7, 93-96 (in Russ.).

4 Tusupbaev N.K. *O vozmozhnom mekhanizme depressii galenita s pomoshch'yu paramagnitnogo materiala* (About possible mechanism of galena depression by paramagnetic material). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex using of mineral resources*, 2008, 6, 49-55 (in Russ.).

5 Predpat. 20209 RK *Sposob razdeleniya medno – svintsovogo kontsentrata* (The method of separation of copper-lead concentrate) Bekturganov N.S., Tusupbaev N.K., Turysbekov D.K., Semushkina L.V., Muhanova A.A., Kaldybaeva Zh.A. *Opubl.* 17.11.2008, 11 (in Russ.).

6 Bekturganov N.S., Tusupbaev N.K., Turysbekov D.K., Semushkina L.V., Mukhanova A.A. *Vliyanie paramagnitnykh materialov na selekciyu kollektivnogo medno-svintsovogo kontsentrata* (Influence of paramagnetic materials on selection of collective copper-lead concentrate). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*, 2010, 4, 26-28 (in Russ.).

7 Tusupbaev N.K., Semushkina L.V., Erzhanova Zh.A., Biljalova S.M. *Novyj paramagnitnyj depressor dlya seleksii medno-svintsovogo kontsentrata polimetallicheskoj rudy Artem'evskogo mestorozhdeniya* (New paramagnetic depressor for selection of copper-lead concentrate of polymetallic ore Artem'evsk deposit). *Nauchnye osnovy i praktika pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya* (Scientific fundamentals and practice of ores and industrial raw materials processing). (Collection of materials of the Intern. scientific – practical conference), *Ekaterinburg, Russia*. 2010, 166-169 (in Russ.).

## ТҮЙІНДЕМЕ

Әртүрлі ферромагнитті материалдардың (табиғи ТФМ, ұнтақталған ҰФМ, наноөлшемді НФМ) галениттің басқышы ретінде әсері біріккен мыс-қорғасын концентратын бөліп алуда сульфитті технологиямен салыстыра отырып зерттеулер жүргізілді. Артем кен орнындағы кенге, ұсынылып отырған ферромагнитті материалдарды қолданғандағы зерттеу жұмыстары жүргізілді. Ондағы бірікті мыс-қорғасын концентратының үлесі, %: мыста 16,3, қорғасында 25,1 ал, мырышта 6,2 құрайды. Ферромагнитті материалдар, концентратты бір-бірінен бөліп алу кезінде көп шығындалатын темір купоросы мен натрий сульфитінің орнын толығымен басатыны көрсетілді. НФМ-ді қолданғанда, анағұрлым жақсы нәтижелер алынды. НФМ сынамалары электронды микроскопта зерттелінді. РЭМ-суретін есептегеннен кейін, X2000 ұлғайтқан кезде, түйіршіктердің таралу өлшемінің қарқынды 2 пікі табылды: 0,02 мкм (20 нм) 35 % және 0,1 мкм (100 нм) 17 %. Сонымен қатар, диспергирлеу жолымен НФМ үлесі 52 %-дай наноөлшемді түйіршік алынды. НФМ-нің оңтайлы шығыны 150 г/т болғанда, біріккен концентраттағы мыс концентратының үлесі 28,6 % ал, бөліп алу дәрежесі 71,5 % құрайды және қорғасын концентратындағы қорғасынның үлесі 45,3 % болғанда бөліп алу дәрежесі 85,3 %. Мыс концентратындағы қорғасынның үлесі мен қорғасын концентратындағы мыстың үлесі 5 % жоғарыламайды. Сонымен қатар, ҰФМ-ке қарағанда, оның шығыны 10-20 есе аз. Бірікті мыс-қорғасын концентратын таңдамалы бөліп алуда, жаңа синтезделген, спирттерде пайда болған алкогольат-



тардан алынған, тетрагидропирон қатарындағы сульфгидрильді көбіктендіргіш КСК-6 дәстүрлі көбіктендіргіш Т-80 орнын толығымен баса алатындығы көрсетілді. Әрі КСК-6 жинағыштық қасиетті бар, ол флотация кезінде бутилді ксантогенаттың шығының 30 % қысқартады.

**Түйінді сөздер:** басқыш, ферромагнитті материал, көбіктендіргіш, таңдамалы бөліп алу, флотация, бөліп алу дәрежесі, концентрат.

#### **SUMMARY**

The studies of various ferromagnetic materials (natural NFM, powder PFM, nanosized NSFM) as galena depressor were carried out in comparison with the sulfite technology for collective copper-lead concentrate separation. Studies were performed on collective copper-lead concentrate from Artem'evsky deposit containing, %: copper 16,3; lead 25,1; zinc 6,2. It was revealed that the ferromagnetic materials substituted high consumption of iron vitriol and sodium sulfite in the selection cycle as compared with the sulfite separation technology. The best results were achieved with using NSFM. NSFM samples were studied on electron scanning microscope (x 2000 multiplied). The fact of the two-peak distribution for particles by size: 0,02 micrometer (20 nm) – 35 % and 0,1 micrometer (100 nm) – 17 % was registered. NSFM containing nanosized particles less 52 % were obtained through dispersion. At the optimal NSFM consumption of 150 g per ton of the collective concentrate, the copper concentrate containing 28,6 % of copper at its extraction of 71,5 % and the lead concentrate containing 45,3 % of lead at its extraction of 85,3 % were obtained. The content of lead in the copper concentrate and that of copper in the lead concentrate was below 5 %. The NSFM consumption was 10-20 times lower than that of PFM. It was shown that the novel tetra-hydro-pyran-sulf-hydric foaming agent KSK-6 could fully substitute a traditional foaming agent T-80 in the cycle of collective copper-lead concentrate separation. Besides that, KSK-6 partially showed the collector properties, thus butyl xanthogenate consumption was down by 30 %.

**Key words:** depressor; ferromagnetic material; foaming agent; selection; flotation; recovery; concentrate.

*Поступила 10.03.2015*

