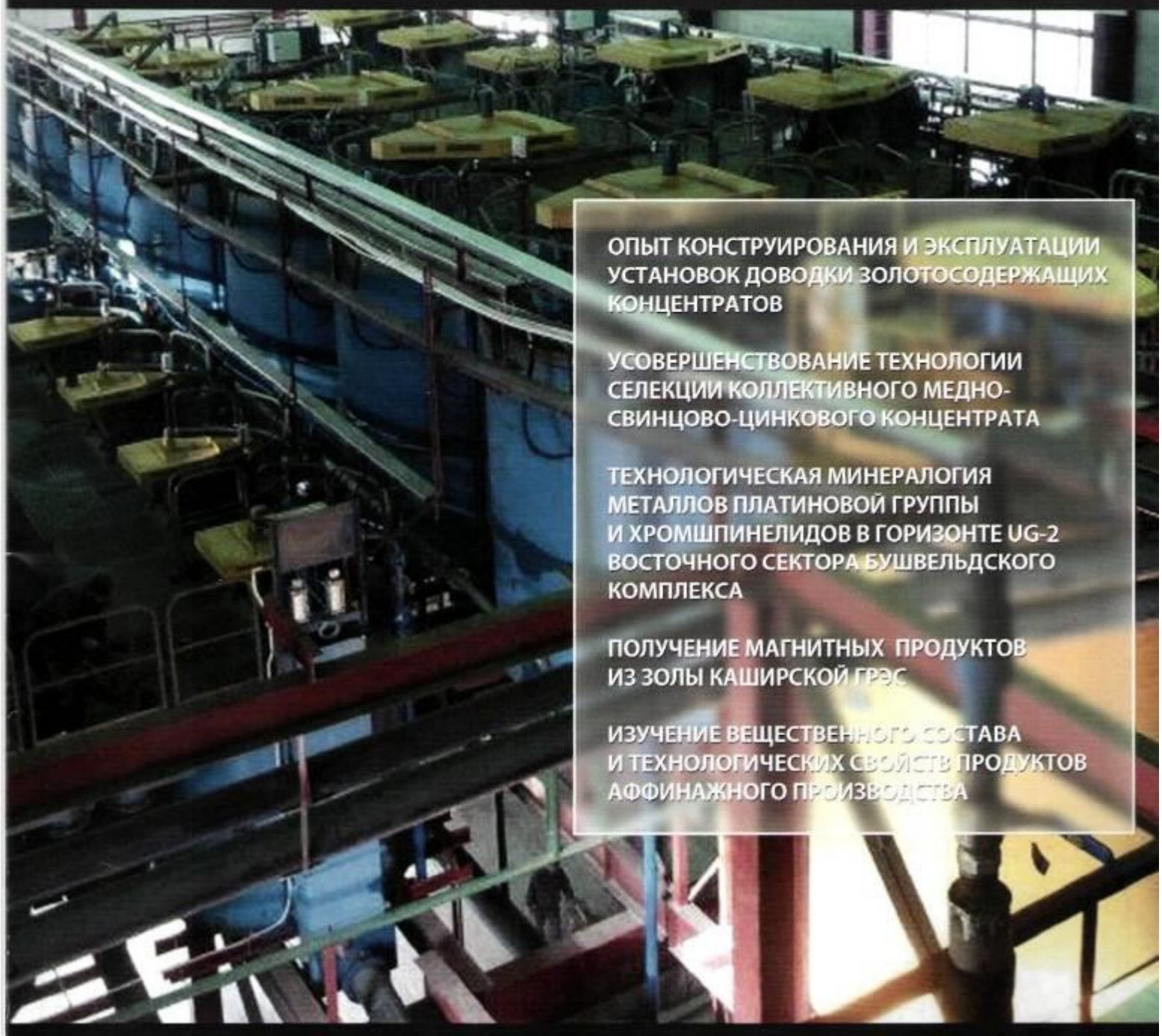
ОБОГАЩЕНИЕ РУД

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. ИЗДАЕТСЯ С 1956 ГОДА



ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВОК ДОВОДКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКЦИИ КОЛЛЕКТИВНОГО МЕДНО-СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ И ХРОМШПИНЕЛИДОВ В ГОРИЗОНТЕ UG-2 ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА БУШВЕЛЬДСКОГО КОМПЛЕКСА

ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ЗОЛЫ КАШИРСКОЙ ГРЭС

ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ АФФИНАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

6 ▸ 2013

www.rudmet.ru

ISSN 0202-3776

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1956 году.
Издается один раз в 2 месяца.
Санкт-Петербург

ОБОГАЩЕНИЕ РУД

6 [348] 2013

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), ПИ № ФС77-51322 от 19 октября 2012 г.

УЧРЕДИТЕЛИ

ЗАО «Механобр инжиниринг»

«Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (ЗАО)

ФГАОУВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

ЗАО «Издательский дом «Руда и Металлы»

При участии ИПКОН РАН и Государственного Эрмитажа

Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по разработке месторождений твердых полезных ископаемых

Журнал с начала 2013 г. включен в Международную реферативную базу данных Scopus для научно-технических изданий, которая признана Министерством образования и науки РФ в качестве одного из критериев общероссийской оценки системы эффективности деятельности высших учебных заведений

© Оформление. ЗАО «Издательский дом «Руда и Металлы», «Обогащение руд», 2013. Товарный знак и название «Обогащение руд» являются исключительной собственностью ИД «Руда и Металлы».

Подписные индексы:
41081 (Роспечать)
10344 (ОК «Пресса России»)

Цена свободная

МАПАХАНА

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ

Евдокимов С. И., Евдокимов В. С. Совершенствование технологии флотации вкрапленных медно-никелевых руд . . . 3

Зашихин А. В., Гурьянов А. Е., Ананенко К. Е. Опыт конструирования и эксплуатации установок доводки золотосодержащих концентратов . . . 8

Тусупбаев Н. К., Бектурганов Н. С., Турысбеков Д. К., Семушкина Л. В., Муханова А. А. Усовершенствование технологии селекции коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата . . . 12

ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Гетман В. В., Гапчич А. О. Исследование взаимодействия диизобутилдитиофосфата (ДИФ) с поверхностью сульфидов, содержащих эмульсионную вкрапленность золота . . . 18

Гиззатов А. А., Рахимов М. Н., Рахимова З. Ф. Собиратели для флотации угля на основе алкилпроизводных ароматических углеводородов . . . 22

ТЕОРИЯ ПРОЦЕССОВ

Демидов И. В., Сорокин В. С. Движение деформируемых включений в горизонтально колеблющемся сосуде со сжимаемой жидкостью . . . 26

Малышев В. П., Бектурганов Н. С., Турдукожаева А. М., Кайкенов Д. А. Как влияют шары разного размера и их смеси на измельчение материалов . . . 32

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

Семиколенных Е. С., Петров С. В. Особенности распределения рудных минералов в хромититовом горизонте UG-2 Восточного сектора Бушвельдского комплекса . . . 36

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ

Рябов Ю. В., Делицын Л. М., Власов А. С., Голубев Ю. Н. Получение магнитных продуктов из золы Каширской ГРЭС . . . 41

ПЕРЕРАБОТКА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Алгебраистова Н. К., Самородский П. Н., Кондратьева А. А., Филенкова Н. В., Маркова А. С., Хмелев Н. Б. Изучение вещественного состава и технологических свойств продуктов аффинажного производства . . . 46

Рецензии

Рябой В. И. Рецензия на монографию П. М. Соложенкина «Создание и прогнозирование свойств эффективных, малотоксичных флотационных реагентов на основе квантово-механических представлений с целью комплексного извлечения цветных и благородных металлов» . . . 50

КОНГРЕССЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ

Шадрунова И. В., Чекушина Т. В. Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья . . . 51

XI Форум «Восток–Запад» . . . 53

Новинки Metso на выставке «Euromining–2013» . . . 3 (обл.)

Юбилеи

И. И. Блехману – 85 лет . . . 54

Реклама

ОАО «ВНИПИпромтехнологии» – инжиниринговый центр Уранового холдинга «АРМЗ» . . . 7

Объявления . . . 11, 21, 54

Правила представления статей для опубликования в журнале «Обогащение руд» . . . 17

Перечень статей, опубликованных в журнале в 2013 году . . . 55

ISSN 0202-3776
9 770202 377002 >

УДК 622.765

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКЦИИ КОЛЛЕКТИВНОГО МЕДНО-СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Н. К. ТУСУПБАЕВ[1], Н. С. БЕКТУРГАНОВ[2], Д. К. ТУРЫСБЕКОВ[1], Л. В. СЕМУШКИНА[1], А. А. МУХАНОВА[1] (1 – АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», 2 – АО «Национальный научно-технологический холдинг «Парасат»)*

Представлены результаты исследований по изучению влияния нагрева пульпы на селективное разделение коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с использованием модифицированного смесевого аэрофлота в сравнении с базовым бутиловым аэрофлотом. Модифицированный аэрофлот представляет собой смесь бутилового аэрофлота и сивушного масла в соотношении 1 : 3. Экспериментально установлено, что расход модифицированного смесевого аэрофлота по сравнению с бутиловым уменьшается на 10 г/т. При этом извлечение цветных металлов в коллективный концентрат возрастает на 1,5–3 %. Результаты исследований показали, что при селективном разделении коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с использованием модифицированного смесевого аэрофлота нагрев пульпы необходим только в цикле выделения медного концентрата. При температуре 60 °С получен медный концентрат с массовой долей меди 28,9 % при извлечении 68,5 %. Извлечение меди в медный концентрат при повышении температуры увеличивается на 13,7 % в открытом цикле флотации и на 6,1 % в замкнутом цикле. Повышенная температура позволяет также исключить из процесса десорбции сернистый натрий.

Ключевые слова: коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат, флотация, селекция, извлечение, нагрев, модифицированный реагент.

Совершенствование флотационного обогащения осуществляется путем внедрения новых технологических схем, а также модификацией существующих и применением новых флотационных реагентов. Значительное повышение эффективности флотационного процесса может быть достигнуто за счет использования различных способов обработки пульпы и реагентов, сочетания собирателей (ксантогенатов и аэрофлотов) с различной длиной углеводородных радикалов, энергетического воздействия на флотационную систему (подогрев пульпы). Практика флотации рудных минералов уже в течение полутора столетий обеспечивает стабильные, но не максимально возможные по извлечению и селективности результаты. Флотационная наука в настоящее время не может разработать корректную модель гидрофобных флотационных взаимодействий (ГФбВ) между пузырьками и минеральными частицами. На основе научно достоверной теории ГФбВ и сил прилипания при флокуляции и флотации представилось возможным усовершенствовать технологии флотации упорных руд цветных и редких металлов ряда месторождений Казахстана: свинцово-цинковых, барит-полиметаллических и медно-молибденовых.

В работах Р. Т. Хуки [1] отмечается, что затраты на подогрев пульпы имеют тот же порядок, как и на сушку готовых концентратов. Преимуществом этих методов являются улучшение селективности, качества и извлечения исходных компонентов, исключение обесшламливания, повышение флотируемости мелких классов, сокращение продолжительности флотации, снижение расхода реагентов и электроэнергии на флотацию.

В работах М. А. Эйгелеса [2, 3] показано, что повышение температуры может оказывать влияние на реакционную способность твердого тела, растворимость реагента, степень ионизации реагентов, закрепившихся на поверхности минералов, устойчивость пены и т. д. Многие ученые, занятые обогащением полезных ископаемых, (А. Ф. Тагтарт, К. Л. Сазерленд, И. В. Уорк, А. М. Годен, М. А. Эйгелес, В. А. Глембоцкий, Р. Т. Хуки и др.) считают, что подогрев флотационной пульпы и его многостороннее воздействие на нее являются средством усиления энергии гидрофобных взаимодействий, повышающим эффективность флотации руд цветных металлов. Несмотря на то, что кипячение пульпы использовалось во времена зарождения флотационного процесса, в дальнейшем подогрев пульпы, особенно при обогащении сульфидных руд, не получил широкого применения. Исследованиями, проведенными в институтах «Механобр», Унипромедь, Гинцветмет и др., показано, что регулирование степени окисленности сульфидных минералов при обогащении вкрапленных сульфидных руд может быть достигнуто путем аэрационно-теплового кондиционирования пульпы

* Тусупбаев Несипбай Куандыкович — заведующий лабораторией, д-р техн. наук, nesipbay@mail.ru; Бектурганов Нуралы Султанович — научный консультант, академик НАН РК, д-р техн. наук, n.bekturganov@parasat.com.kz; Турысбеков Дулатбек Кадырбекулы — старший научный сотрудник, канд. техн. наук, dula@mail.ru; Семушкина Лариса Валерьевна — старший научный сотрудник, канд. техн. наук, syomushkina.lara@mail.ru; Муханова Айнур Айтказыновна — младший научный сотрудник.

© Тусупбаев Н. К., Бектурганов Н. С., Турысбеков Д. К., Семушкина Л. В., Муханова А. А., 2013

[6–8]. Сотрудниками Армнипроцветмета разработан способ разделения свинцово-медного концентрата, сочетающий подогрев пульпы до 70 °С с одновременным применением бихромата калия или натрия [7]. Некоторыми исследователями выявлены закономерности, позволяющие разработать новый способ флотации паровоздушной смесью, при котором за счет конденсации пара нагревается только поверхностный слой пузырька, в котором локально действие сил структурного происхождения, а не весь объем пульпы [8].

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Проведены исследования по выбору оптимальных условий флотационного обогащения полиметаллической руды Артемьевского месторождения с применением бутилового аэрофлота и модифицированного смесевого аэрофлота (бутиловый аэрофлот и сивушное масло в соотношении 1 : 3) в зависимости от температуры пульпы. Схема флотации включала измельчение руды до 70–75 % класса –0,074 мм, основную коллективную медно-свинцово-цинково-пиритную флотацию, две перечистки коллективного концентрата и контрольную флотацию. В качестве собирателя использовали базовый бутиловый аэрофлот и модифицированный смесевой аэрофлот, в качестве пенообразователя — Т-80.

Экспериментально определен оптимальный расход бутилового аэрофлота — 85 г/т. При этом получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат с массовой долей меди 4,1 %, свинца — 8,5 %, цинка — [illegible] %. Извлечение меди при этом составило [illegible] %, свинца — 81,5 %, цинка — 85,6 %.

Оптимальный расход модифицированного смесевого аэрофлота оказался ниже — [illegible]. При этом получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат с массовой долей меди 4,05 %, свинца — 8,71 %, цинка — [illegible] %. Извлечение меди в коллективный концентрат составило 85,9 %, свинца — 84,5 %, цинка — [illegible] %. Применение модифицированного смесевого аэрофлота позволяет увеличить извлечение цветных металлов в коллективный концентрат на 1,5–3 %.

Далее полученный коллективный концентрат подвергался разделению на медный, свинцовый и цинковый концентраты по схеме прямой селективной флотации. Полная флотационная схема получения селективных концентратов и реагентный режим представлены на рисунке. Цикл медной флотации проводился после доизмельчения коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата при pH = 8. Доизмельчение коллективного концентрата осуществлялось до крупности 85–98 % класса –0,074 мм.

Проведены исследования по изучению влияния температуры на качество получаемого коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата и извлечение меди, свинца и цинка с применением в процессе флотации модифицированного смесевого аэрофлота. Температура коллективной флотации менялась от 25 до 70 °С. Результаты флотации представлены в табл. 1. Данные табл. 1 показывают, что для получения оптимального по качеству и извлечению коллективного концентрата нагрев пульпы не нужен. При 25 °С получается коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат с массовой долей меди 4,05 %, свинца — 8,71 %, цинка — 25,9 %. Извлечение меди в коллективный концентрат составило 85,9 %, свинца — 84,5 %, цинка — 88,9 %. При повышении температуры до 60–70 °С массовая доля меди в коллективном концентрате возрастает примерно в два раза и доходит до 8,7 %. Но на извлечение свинца

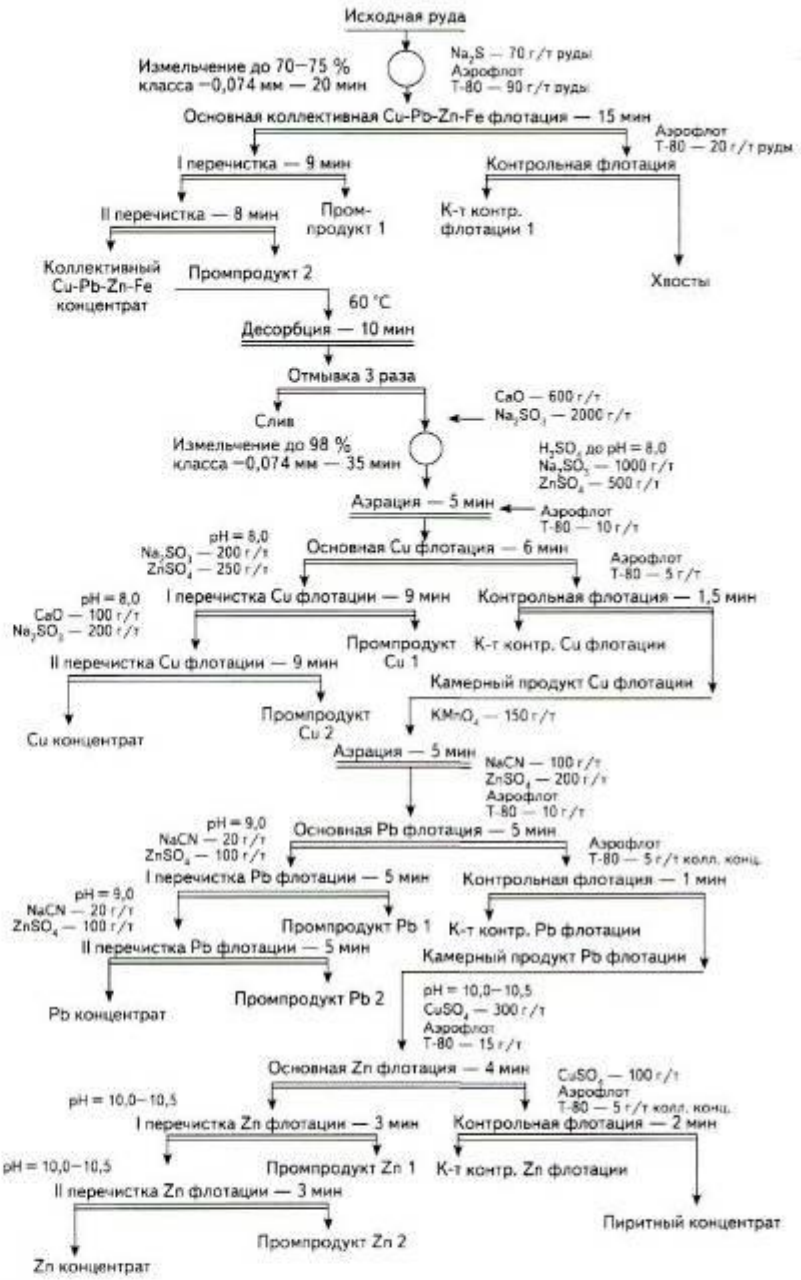


Схема селективной флотации полиметаллической руды Артемьевского месторождения

Таблица 1

Результаты флотации руды Артемьевского месторождения с получением коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с применением модифицированного смесевого аэрофлота (75 г/т) в зависимости от температуры пульпы

Продукты	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %				Температура, °С
		Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe	
Коллективный концентрат	25,64	8,71	4,05	25,9	18,6	84,5	85,9	88,9	57,4	25
Промпродукт 2	2,89	2,5	1,1	9,6	10,2	2,7	2,6	3,7	3,5	
Помпродукт 1	7,56	1,75	0,6	4,1	9,4	5,0	3,7	4,1	8,5	
Пенный контрольной флотации 1	6,01	1,5	0,6	2,2	8,7	3,4	3,0	1,8	6,3	
Хвосты	57,90	0,2	0,1	0,2	3,5	4,4	4,8	1,5	24,3	
Исходная руда	100,0	2,65	1,21	7,49	8,34	100	100	100	100	
Коллективный концентрат	23,70	7,6	5,1	22,6	15,6	68,7	85,3	73,9	43,6	40
Промпродукт 2	6,10	3,7	1	11,5	9,4	8,6	4,3	9,7	6,8	
Промпродукт 1	5,70	3,5	0,7	8,6	7,6	7,6	2,8	6,8	5,1	
Пенный контрольной флотации 1	7,20	1,5	0,7	6,9	9,4	4,1	3,6	6,9	8,0	
Хвосты	57,30	0,5	0,1	0,35	5,4	10,9	4,0	2,8	36,5	
Исходная руда	100,0	2,62	1,42	7,25	8,47	100	100	100	100	
Коллективный концентрат	22,50	4,6	4,9	18,4	14,8	41,9	87,5	56,2	39,6	50
Промпродукт 2	6,40	4,7	0,7	10,7	10,2	12,2	3,6	9,3	7,8	
Промпродукт 1	4,30	3,5	0,6	9,1	6,5	6,1	2,0	5,3	3,3	
Пенный контрольной флотации 1	6,80	3,9	0,4	6,4	8,9	10,7	2,2	5,9	7,2	
Хвосты	60,00	1,2	0,1	2,85	5,9	29,1	4,8	23,2	42,1	
Исходная руда	100,0	2,47	1,26	7,36	8,41	100	100	100	100	
Коллективный концентрат	15,10	3,9	8,5	12,5	13,1	24,1	87,7	26,3	25,2	60
Промпродукт 2	7,60	3,1	0,6	11,5	10,2	9,6	3,1	12,2	9,9	
Промпродукт 1	8,10	2,3	0,6	9,6	6,1	7,6	3,3	10,8	6,3	
Пенный контрольной флотации 1	5,70	1,8	0,4	7,1	8,5	4,2	1,6	5,6	6,2	
Хвосты	63,50	2,1	0,1	5,1	6,5	54,5	4,3	45,1	52,5	
Исходная руда	100,0	2,45	1,46	7,18	7,86	100	100	100	100	
Коллективный концентрат	14,90	3,4	8,7	10,2	13	20,5	87,8	21,1	25,0	70
Промпродукт 2	7,50	3,2	0,5	9,7	9,6	9,7	2,5	10,1	9,3	
Промпродукт 1	7,90	2,5	0,7	9,6	6,1	8,0	3,7	10,6	6,2	
Пенный контрольной флотации 1	4,60	2	0,5	7,4	8,5	3,7	1,6	4,7	5,0	
Хвосты	65,10	2,2	0,1	5,9	6,5	58,0	4,4	53,4	54,5	
Исходная руда	100,0	2,47	1,48	7,19	7,76	100	100	100	100	

и цинка температура действует отрицательно, содержание свинца и цинка в концентрате, а также их извлечение падают. Так, массовая доля свинца с увеличением температуры уменьшается с 8,7 до 3,4 %, цинка — с 25,9 до 10,2 %. Извлечение свинца с увеличением температуры падает с 84,5 до 20,5 %, цинка — с 88,9 до 21,1 %.

Перед селекцией коллективный концентрат подвергался десорбции реагентов при температуре 60 °С. Повышенная температура позволяет исключить из процесса десорбции сернистый натрий. Проведены исследования по выбору оптимальных условий селективной флотации коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с применением базового реагента — бутилового аэрофлота — и модифицированного смесевого аэрофлота с получением медного концентрата. Расход аэрофлота в медном цикле флотации составлял 10 г/т, пенообразователя Т-80 — 10 г/т. Температура процесса варьировалась от 25 до 70 °С.

Результаты флотации коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с применением модифицированного смесевого аэрофлота с получением медного концентрата в зависимости от температуры флотации представлены в табл. 2.

Результаты проведенных исследований показали, что повышение температуры улучшает технологические показатели медной флотации. При температуре 60 °С получ

Таблица 2

Результаты флотации коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата Артемьевского месторождения с применением модифицированного смесевого аэрофлота с получением медного концентрата в зависимости от температуры флотации

Продукты	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %				Температура, °С
		Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe	
Медный концентрат	14,4	13,9	14,1	26,9	24,3	24,7	54,8	15,7	20,2	25
Промпродукт медный 2	2,9	20,9	10,9	22,6	26,2	7,5	8,5	2,7	4,4	
Промпродукт медный 1	5,8	29,1	5,9	24,9	27,9	20,9	9,2	5,8	9,4	
Камерный продукт медной флотации	76,9	4,9	1,3	24,3	14,9	46,6	27,5	75,8	66,2	
Коллективный концентрат	100	8,1	3,7	24,7	17,3	100	100	100	100	
Медный концентрат	9,2	10,5	22,5	10,8	29,6	11,9	57,2	4,1	15,7	40
Промпродукт медный 2	3,1	19,4	12,5	16,9	21,5	7,4	10,7	2,2	3,9	
Промпродукт медный 1	4,3	25,6	7,6	21,3	17,2	13,6	9,0	3,8	4,3	
Камерный продукт медной флотации	83,4	6,5	1	26,1	15,8	67,0	23,0	89,9	76,1	
Коллективный концентрат	100	8,1	3,6	24,2	17,3	100	100	100	100	
Медный концентрат	8,28	1,5	28,9	2,4	27,6	1,5	68,5	0,8	13,6	60
Промпродукт медный 2	3,94	10,1	11,1	18,4	14,5	4,8	12,5	2,9	3,4	
Промпродукт медный 1	6,4	13,4	7,8	9,1	15,9	10,4	14,3	2,3	6,1	
Камерный продукт медной флотации	81,38	8,4	0,2	29,1	15,9	83,2	4,7	94,0	77,0	
Коллективный концентрат	100	8,2	3,5	25,2	16,9	100	100	100	100	
Медный концентрат	8,9	1,5	26,2	4,2	25,6	1,6	65,7	1,5	13,0	70
Промпродукт медный 2	4,3	9,6	10,1	10,5	13,8	5,0	12,2	1,8	3,4	
Промпродукт медный 1	6,1	12,1	8,9	14,9	16,2	9,0	15,3	3,7	5,6	
Камерный продукт медной флотации	80,7	8,6	0,3	28,7	16,9	84,5	6,8	93,0	77,9	
Коллективный концентрат	100	8,2	3,6	24,9	17,5	100	100	100	100	

Таблица 3

Результаты флотационного получения свинцового концентрата из камерного продукта медной флотации руды Артемьевского месторождения с применением модифицированного смесевого аэрофлота при различной температуре

Продукты	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %				Температура, °С
		Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe	
Свинцовый концентрат	14,1	56,4	0,4	4,8	2,5	89,4	39,6	2,3	2,2	25
Промпродукт свинцовый 2	2,1	11,4	0,1	8,6	2,4	2,7	1,5	0,6	0,3	
Промпродукт свинцовый 1	2,4	3,4	0,1	13,4	2,6	0,9	1,7	1,1	0,4	
Пенный продукт свинцовой флотации	4,8	4,9	0,1	6,3	2,9	2,6	3,4	1,0	0,9	
Камерный продукт свинцовой флотации	76,6	0,5	0,1	36,1	19,9	4,3	53,8	94,9	96,2	
Камерный продукт медной флотации	100	8,89	0,14	29,1	15,8	100	100	100	100	
Свинцовый концентрат	11,6	43,5	0,4	11,3	7,8	58,1	34,4	4,7	6,2	40
Промпродукт свинцовый 2	9,4	13,2	0,1	18,6	3,9	14,3	7,0	6,2	2,5	
Промпродукт свинцовый 1	13,6	6,9	0,1	13,5	8,5	10,8	10,1	6,5	8,0	
Пенный продукт свинцовой флотации	9,4	7,8	0,1	14,7	3,5	8,4	7,0	4,9	2,3	
Камерный продукт свинцовой флотации	56	1,3	0,1	38,9	21	8,4	41,5	77,6	81,0	
Камерный продукт медной флотации	100	8,69	0,13	28,1	14,5	100	100	100	100	
Свинцовый концентрат	5,3	25,3	0,3	15,4	8,9	15,6	13,1	2,9	3,1	60
Промпродукт свинцовый 2	5,4	16,4	0,1	13,6	4,7	10,3	4,4	2,6	1,7	
Промпродукт свинцовый 1	11,2	18,7	0,2	14,3	6,3	24,3	18,4	5,6	4,6	
Пенный продукт свинцовой флотации	2,6	16,6	0,1	8,2	2,4	5,0	2,1	0,8	0,4	
Камерный продукт свинцовой флотации	75,5	5,1	0,1	33,1	18,2	44,8	62,0	88,1	90,2	
Камерный продукт медной флотации	100	8,60	0,12	28,3	15,2	100	100	100	100	
Свинцовый концентрат	5,4	24,3	0,2	13,1	9,1	15,6	9,6	2,5	3,0	70
Промпродукт свинцовый 2	4,2	15,6	0,2	10,4	5,1	7,8	7,5	1,5	1,3	
Промпродукт свинцовый 1	9,6	19,1	0,1	15,6	7,4	21,8	8,5	5,3	4,3	
Пенный продукт свинцовой флотации	3,1	16,4	0,2	9,4	3,5	6,0	5,5	1,0	0,7	
Камерный продукт свинцовой флотации	77,7	5,3	0,1	32,8	19,4	48,9	68,9	89,7	90,8	
Камерный продукт медной флотации	100	8,43	0,11	28,4	16,6	100	100	100	100	

медный концентрат с массовой долей меди 28,9 % при извлечении 68,5 %. Извлечение меди при повышении температуры увеличивается на 13,7 %.

Проведены исследования по выбору оптимальных условий селективной флотации свинцового концентрата с применением модифицированного смесевого аэрофлота. Результаты флотации представлены в табл. 3.

Как показывают данные табл. 3, для получения свинцового концентрата из камерного продукта медной флотации нагрев пульпы не нужен. При температуре 25 °С получен свинцовый концентрат с массовой долей свинца 56,4 % при извлечении 89,4 %.

После получения свинцового концентрата следует цинковый цикл флотации при pH 10,010,5 и активации цинковых минералов медным купоросом (рисунок). Результаты флотационного получения цинкового концентрата из камерного продукта свинцовой флотации при разных расходах модифицированного смесевого аэрофлота представлены в табл. 4.

Как видно из данных табл. 4, повышение температуры в цинковом цикле также не приводит к улучшению технологических показателей. Содержание цинка в цинковом концентрате и его извлечение при дополнительном нагреве пульпы уменьшаются. Результаты исследований показали, что при селективном разделении коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с использованием модифицированного

Таблица 4

Результаты флотационного получения цинкового концентрата из камерного продукта свинцовой флотации руды Артемьевского месторождения с применением модифицированного смесевого аэрофлота при различной температуре

Продукты	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %				Температура, °С
		Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe	
Цинковый концентрат	51,2	0,4	0,1	53,3	3,2	41,3	51,2	85,8	8,3	25
Промпродукт цинковый 2	4,1	0,7	0,1	29,6	5,4	5,8	4,1	3,8	1,1	
Промпродукт цинковый 1	2,8	0,5	0,1	24,1	7,9	2,8	2,8	2,1	1,1	
Пенный продукт цинковой флотации	3	0,5	0,1	32,7	7,2	3,0	3,0	3,1	1,1	
Железный концентрат	38,9	0,6	0,1	4,2	44,6	47,1	38,9	5,1	88,3	
Камерный продукт свинцовой флотации	100	0,50	0,10	31,8	19,6	100	100	100	100	
Цинковый концентрат	50	0,4	0,1	50,4	3,1	39,8	50,0	82,8	7,5	40
Промпродукт цинковый 2	3,5	0,6	0,1	26,8	5,9	4,2	3,5	3,1	1,0	
Промпродукт цинковый 1	3,1	0,6	0,1	24,3	6,5	3,7	3,1	2,5	1,0	
Пенный продукт цинковой флотации	2,9	0,7	0,1	25,5	6,1	4,0	2,9	2,4	0,9	
Железный концентрат	40,5	0,6	0,1	6,9	45,5	48,3	40,5	9,2	89,6	
Камерный продукт свинцовой флотации	100	0,50	0,10	30,4	20,5	100	100	100	100	
Цинковый концентрат	52,3	0,4	0,1	53,5	3,2	39,9	52,3	86,9	8,7	60
Промпродукт цинковый 2	4,1	0,4	0,1	25,4	6,1	3,1	4,1	3,2	1,3	
Промпродукт цинковый 1	5,9	0,6	0,1	17,4	5,7	6,7	5,9	3,2	1,7	
Пенный продукт цинковой флотации	3,3	0,7	0,1	20,5	5,1	4,4	3,3	2,1	0,9	
Железный концентрат	34,4	0,7	0,1	4,3	48,9	45,9	34,4	4,6	87,4	
Камерный продукт свинцовой флотации	100	0,52	0,10	32,2	19,2	100	100	100	100	
Цинковый концентрат	51,2	0,4	0,1	52,9	3,5	40,2	51,2	84,8	9,4	70
Промпродукт цинковый 2	5,6	0,5	0,1	25,5	5,9	5,5	5,6	4,5	1,7	
Промпродукт цинковый 1	6,5	0,8	0,1	19,4	6,7	10,2	6,5	3,9	2,3	
Пенный продукт цинковой флотации	4,2	0,7	0,1	18,7	6,8	5,8	4,2	2,5	1,5	
Железный концентрат	32,5	0,6	0,1	4,3	50,1	38,3	32,5	4,4	85,1	
Камерный продукт свинцовой флотации	100	0,51	0,10	31,9	19,1	100	100	100	100	

Таблица 5

Результаты флотации руды Артемьевского месторождения с получением коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с применением модифицированного смесевого аэрофлота в замкнутом цикле

Продукты	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %				Расход реагентов, г/т
		Cu	Pb	Zn	Fe	Cu	Pb	Zn	Fe	
Коллективный концентрат	24,6	5,4	9,1	26,8	19,8	92,2	90,8	90,7	58,4	Бутиловый аэрофлот — 90
Хвосты	75,4	0,15	0,3	0,9	4,6	7,8	9,2	9,3	41,6	
Исходная руда	100	1,4	2,5	7,3	8,3	100	100	100	100	
Коллективный концентрат	25,3	6,1	9,8	26,5	20,6	95,4	93,0	91,8	63,0	Модифицированный аэрофлот — 75
Хвосты	74,7	0,1	0,25	0,8	4,1	4,6	7,0	8,2	37,0	
Исходная руда	100	1,6	2,7	7,3	8,3	100	100	100	100	

смесевого аэрофлота нагрев пульпы необходим только в цикле выделения медного концентрата. Свинцовый и цинковый концентраты получены при обычной температуре пульпы.

Проведены опыты по коллективной и селективной флотации в замкнутом цикле с нагревом пульпы в медном цикле флотации и применением модифицированного аэрофлота. Результаты представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 6

Результаты селективной флотации руды Артемьевского месторождения с применением модифицированного смесевого аэрофлота и нагрева пульпы в замкнутом цикле

Продукты	Выход, %	Массовая доля, %				Извлечение, %				Реагент
		Pb	Cu	Zn	Fe	Pb	Cu	Zn	Fe	
Медный концентрат	14,4	4,6	27,1	4,3	29,6	7,2	77,3	2,3	20,3	Бутиловый аэрофлот
Свинцовый концентрат	13,2	56,3	4,0	7,0	6,9	80,3	10,5	3,5	4,3	
Цинковый концентрат	37,9	2,6	1,0	58,0	5,0	10,7	7,5	82,9	9,0	
Железный промпродукт	34,5	0,5	0,7	8,7	40,3	1,9	4,8	11,3	66,3	
Коллективный концентрат	100,0	9,3	5,1	26,5	21,0	100	100	100	100	
Медный концентрат	17,1	4,8	28,6	4,2	30,1	8,7	83,4	2,7	25,0	Модифицированный аэрофлот
Свинцовый концентрат	13,3	56,6	3,3	6,9	6,5	80,1	7,5	3,5	4,2	
Цинковый концентрат	38	2,5	0,9	58,2	4,3	10,1	5,8	83,7	7,9	
Железный промпродукт	31,6	0,3	0,6	8,5	40,9	1,0	3,2	10,2	62,8	
Коллективный концентрат	100,0	9,4	5,9	26,4	20,6	100	100	100	100	

Результаты исследований в замкнутом цикле подтвердили, что при селективном разделении коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с использованием модифицированного смесевого аэрофлота нагрев пульпы необходим только в цикле выделения медного концентрата. Извлечение меди в медный концентрат в замкнутом цикле при повышении температуры до 60 °С увеличивается на 6,1 %.

Выводы

Проведены исследования по изучению влияния нагрева пульпы на селективное разделение коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с использованием модифицированного аэрофлота, представляющего собой смесь бутилового аэрофлота и сивушного масла в соотношении 1 : 3. Расход модифицированного смесевого аэрофлота составил 75 г/т, что на 10 г/т меньше, чем базового аэрофлота. При этом получен коллективный медно-свинцово-цинковый концентрат с массовой долей меди 4,05 %, свинца — 8,71 %, цинка — 25,9 %. Извлечение меди в коллективный концентрат составило 85,9 %, свинца — 84,5 %, цинка — 88,9 %. Применение модифицированного смесевого аэрофлота позволяет увеличить извлечение цветных металлов в коллективный концентрат на 1,5 – 3 %. Перед селекцией коллективный концентрат подвергался десорбции реагентов при температуре 60 °С. Повышенная температура позволяет исключить из процесса десорбции сернистый натрий. Результаты исследований показали, что при селективном разделении коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата с использованием модифицированного смесевого аэрофлота нагрев пульпы необходим только в цикле выделения медного концентрата. Извлечение меди в медный концентрат при повышении температуры до 60 °С увеличивается на 13,7 % в открытом цикле и на 6,1 % — в замкнутом.

Список литературы

1. Hukki R.T. Hot flotation improves selectivity and raises mineral recoveries // World Mining. 1973. № 3. P. 74 – 76.
2. Эйгелес М. А. Основы флотации несульфидных минералов. М.: Недра,1964.
3. Эйгелес М. А., Фуки И. В. О взаимодействии жирнокислотного собирателя с некоторыми окислами и силикатами, активированными при измельчении в зависимости от температуры пульпы // Сб. научных трудов ВИМСа. М.: Недра, 1967. Вып. 18. С. 40 – 62.
4. Бочаров В. А., Рыскин М. Я., Поспелов Н. Д. Развитие технологии переработки медно-цинковых руд Урала // Цветные металлы. 1979. № 10. С.100 – 104.
5. Тарчевская И. Г., Корюкин Б. М., Дружинина С. И. Изучение влияния тепловой обработки пульпы на флотируемость некоторых сульфидных минералов // Изв. ВУЗов. Горн. журн. 1978. № 11. С. 161 – 165.
6. Влияние подогрева пульпы на селекцию коллективного медно-свинцово-цинкового концентрата / Д. К. Турысбеков, Н. К. Тусупбаев, Л. В. Семушкина, С. Н. Калугин, Ж. А. Калдыбаева, М. Т. Баймаханов // IX Конгресс обогатителей стран СНГ, Москва, 2013. С. 594 – 596.
7. О действии бихромата калия при подогреве пульпы / Р. М. Сирунян, С. А. Абрамян, А. Л. Саградян, Р. И. Исаакян, В. В. Арутюнян // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. 1980. № 5. С. 90 – 92.
8. Евдокимов С. И., Паньшин А. М. Нагрев граничных слоев пузырьков как метод активации флотации // Цветные металлы. 2009. № 12. С. 23 – 26.

BULK COPPER-LEAD-ZINC CONCENTRATE SELECTION TECHNOLOGY IMPROVEMENT

TUSUPBAYEV NESIPBAY KUANDYKOVICH, Head of Laboratory, Doctor of Engineering Sciences, nesipbay@mail.ru;
BEKTURGANOV NURALY SULTANOVICH, Scientific Consultant of National Scientific-Technological Holding «Parasat», Academician of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Engineering Sciences, n.bekturganov@parasat.com.kz;
TURYSBEKOV DULATBEK KADYRBEKULY, Senior Researcher, Ph. D. in Engineering Sciences, dula@mail.ru;e-mail;
SYUMUSHKINA LARISA VALERYEVNA, Senior Researcher, Ph. D. in Engineering Sciences, syomushkina.lara@ mail.ru;
MUKHANOVA AYNUR AYTKAZYNOVNA, Junior Researcher;
Center of Earth Sciences, Metallurgy and Ore Benefication, National Scientific-Technological Holding «Parasat» (Republic of Kazakhstan), ecomo@rambler.ru.

The results of studies on flotation slurry heating effect upon bulk copper-lead-zinc concentrate selective separation with application of modified mixed aerofloat in comparison with base butyl aerofloat are presented. Modified mixed aerofloat is a mixture of butyl aerofloat with tall oil in a 1 : 3 ratio. Experiments proved that modified mixed aerofloat consumption, if compared with butyl aerofloat, is decreased by 8 g/t. With that, base metals recovery into bulk concentrate is increased by 1.5–3 %. The results of studies showed, that in bulk copper-lead-zinc concentrate selective separation with application of modified mixed aerofloat, flotation slurry heating is required only in copper concentrate separation cycle. At the temperature of +60 °C, copper concentrate was produced with copper mass fraction of 28.9 %, recovery being 90.1 %. With temperature increase, copper recovery into copper concentrate is increased by 13.7 % in open flotation circuit and by 6.1 % in closed flotation circuit. Increased temperature also permits to eliminate sodium sulfide from desorption process.

Key words: bulk copper-lead-zinc concentrate, flotation, selection, recovery, heating, modified reagent.

References

1. Fukki R. T. Hot flotation improves selectivity and raises mineral recoveries. *World Mining*, 1973, No. 3, pp. 74 – 76.
2. Engeles M. A. *Osnovy flotatsii nesulfidnykh mineralov* (Bases of sulfide-free minerals flotation). Moscow, Nedra,1964.
3. Engeles M. A., Fuki I. V. *O vzaimodeystvii zhirnokislotnogo sobiratelya s nekotorymi okislami i silikatami, aktivirovannymi pri [illegible] v zavisimosti ot temperatury pulpy* (Upon an interaction of a fatty-acid collector with some oxides and silicates activated [illegible] according to temperature of a pulp). *Sbornik nauchnykh trudov VIMSa* (Collection of scientific works of VIMS). Moscow, [illegible], 1967, Is. 18, pp. 40 – 62.
4. Bocharov V. A., Ryskin M. Ya., Pospelov N. D. *Tsvetnye Metally — Non-Ferrous Metals*, 1979, No. 10, pp.100 – 104.
5. Tarchevskaya I. G., Koryukin B. M., Druzhinina S. I. *Izvestiya VUZov. Gornyy zhurnal — News of higher educational institutions. Mining Journal*, 1978, No. 11, pp. 161 – 165.
6. Turysbekov D. K., Tusupbayev N. K., Semushkiva L. V., Kalugin S. N., Kaldybayeva Zh. A., Baymakhanov M. T. *Vliyaniye [illegible] pulpy na selektsiyu kollektivnogo medno-svintsovo-tsinkovogo kontsentrata* (Influence of pulp heating on selection of collective copper-zinc-lead concentrate). *IX Kongress obogatiteley stran SNG* (IXth Congress of dressers of CIS countries), Moscow, [illegible], pp. 594 – 596.
7. Simonyan P. M., Abramyan S. A., Sagradyan A. L., Isaakyan R. I., Arutyunyan V. V. *Izvestiya VUZov. Tsvetnaya Metallurgiya — [illegible] metallurgy transaction. News of higher schools*, 1980, No. 5, pp. 90 – 92.
8. Nevdrikimov S. I., Panshin A. M. *Tsvetnye Metally — Non-Ferrous Metals*, 2009, No. 12, pp. 23 – 26.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ОБОГАЩЕНИЕ РУД»

Комплект представляемых материалов входят:

- Сопроводительное письмо (*форма размещена на сайте* ***www.rudmet.ru***).
- Экспертное заключение (для предприятий и учреждений Российской Федерации).
- Статьи в двух экземплярах (и электронная версия на CD или по e-mail: obrud@mekhanobr.spb.ru).
- Аннотация в объеме не менее 1500 знаков на русском и английском языках.
- Перечень ключевых слов (7–10 слов) на русском и английском языках.
- Сведения об авторах (место работы, должность, ученая степень, ученое звание, почтовый адрес, телефон, e-mail) на русском и английском языках.

Представляемые материалы должны отвечать следующим требованиям:

- Число авторов — не более пяти (если авторы из одной организации) или шести (если авторы из разных организаций).
- Статья должна быть напечатана крупным шрифтом (приблизительно 2000 знаков на странице).
- Объем статьи — не более 20000 знаков (0,5 авторского листа).
- Материал статьи должен быть изложен кратко, без повторений данных таблиц и рисунков в тексте.
- Физические единицы и обозначения необходимо давать в Международной системе СИ.
- Формулы (не более пяти) желательно записывать в виде отдельных файлов в формате TIF или EPS с разрешением не ниже 300 dpi при масштабе 1 : 1.
- Аннотация должна быть информативной и структурированной (включать такие сведения, как цель работы, методология проведения работы, результаты работы, область применения результатов, выводы).
- Библиографический список должен иметь в среднем 7–10 источников с указанием всех авторов. Его необходимо транслитерировать на латинский шрифт, включая фамилию и инициалы автора и название источника публикации, а технические сокращения (выпуск, том, страница и т. п.) должны быть переведены с использованием общепринятых обозначений.

Подробные рекомендации размещены на сайте **www.rudmet.ru**.

Публикация научно-технических статей, в т. ч. аспирантских работ, осуществляется бесплатно.