

УДК 622.765

Е. Н. ШУМСКАЯ, О. Ю. ПОПЕРЕЧНИКОВА, Н. О. ТИХОНОВ (ЗАО «НПО «РИВС»)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ТРУДНОБОГАТИМОЙ КОЛЧЕДАННОЙ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ КОРБАЛИХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ*



Е. Н. ШУМСКАЯ,
ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук



О. Ю. ПОПЕРЕЧНИКОВА,
зав. сектором



Н. О. ТИХОНОВ,
зав. сектором

Приведены результаты разработки технологии обогащения полиметаллической руды Корбалихинского месторождения с целью ее переработки на Рубцовской обогатительной фабрике. Новая технология дает возможность получать кондиционные свинцовый, медный и цинковый концентраты при извлечении 74,36; 80,33 и 85,01 % соответственно. Успешно решены экологические вопросы.

Ключевые слова: колчеданные труднообогатимые руды, флотация, оттирка, селекция медно-свинцового концентрата, флотационные реагенты.

Корбалихинское месторождение по содержанию цинка является одним из самых богатых в Европе. Общие запасы полиметаллической руды по категориям В+С₁ составляют 24,8 млн т при среднем содержании, %: 1,44 Cu; 2,01 Pb; 9,57 Zn.

ОАО «Сибирь-Полиметаллы», входящее в состав «УГМК-Холдинг» в 1999 г. приобрело лицензию на разработку месторождения. Специалистам ЗАО «НПО «РИВС» в 2013 г. поручено провести реконструкцию Рубцовской обогатительной фабрики с целью переработки руд Корбалихинского месторождения. Предусматривается разработка технологии, проектной и рабочей документации, поставка технологического оборудования, авторский надзор и технологическое сопровождение.

В настоящее время на фабрике по коллективной схеме флотации перерабатываются полиметаллические руды Степного и Рубцовского месторождений с получением медного, свинцового и цинкового концентратов.

Годовая производительность фабрики составляет 750 тыс. т руды. После реконструкции объем переработки должен увеличиться до 1,5 млн т руды за счет добычи руды Корбалихинского месторождения.

Начиная с 1963 г. обогатимость руд Корбалихинского месторождения изучалась многими организациями (ВНИИцветмет, Казмеханобр, Уралмеханобр) на пробах разного состава, часто более богатых по сравнению со средним содержанием. Все исследования были проведены по коллективно-селективной схеме флотации с использованием цианида при получении Cu-Pb-концентрата и при его разделении.

Лабораторные испытания в ЗАО «НПО «РИВС» проводили на более бедной пробе руды Корбалихинского месторождения, содержащей %: 0,92 Cu; 2,62 Pb; 6,15 Zn; 9,25 Fe_{общ}; 14,2 S_{общ}.

Фазовый анализ полезных компонентов показал, что медь представлена сульфидными формами — халькопиритом (85,65 % (отн.)), блеклыми рудами (3,64 % (отн.)) и вторичными и окислен-

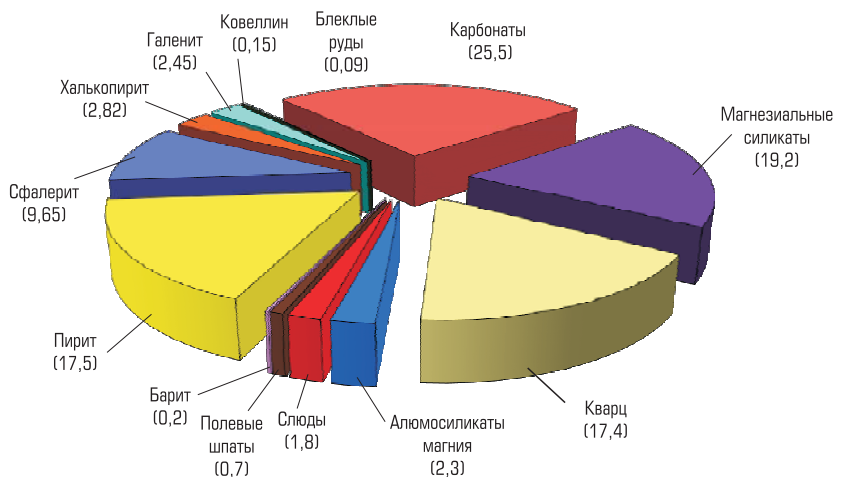


Рис. 1. Минеральный состав руды Корбалихинского месторождения, %

© Шумская Е. Н., Поперечникова О. Ю., Тихонов Н. О., 2014

* Минералогические исследования выполнены О. П. Мезенцевой и А. В. Купцовой (ЗАО «НПО «РИВС»).

ными минералами — 10,71 % (отн.). Цинк в пробе почти полностью представлен в сульфидной форме — 99,35 % (отн.), свинец галенитом — 92,95 % (отн.), силикатами и ярозитом — 6,48 % (отн.) и оксидами — 0,57 % (отн.).

Минеральный состав руды приведен на **рис. 1**.

По соотношению содержаний металлов в данной пробе руда относится к колчеданно-полиметаллическому типу.

Руда Корбалихинского месторождения характеризуется сложным, тонким взаимным сростанием зерен минералов. Структуры отличаются разнообразием и сочетанием, наложением друг на друга. Основными зернистыми структурами руд являются

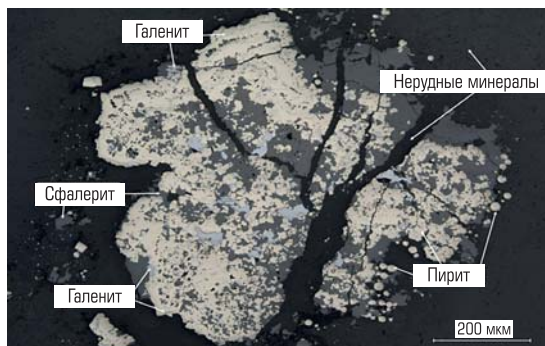


Рис. 2. Сочетание разнообразных структур в одном агрегате. Взаимопрорастание колломорфного пирита с участками концентрически-зональной структуры (тонкие прослойки галенита и сфалерита по краю агрегата), со структурой «разъедания» аллотриаморфно-зернистым сфалеритом и перлитовой структуры (шарики пирита) с галенитом пойкилитовой структуры. По трещинам агрегат замещается нерудными минералами. Отраженный свет, николи параллельны

Для галенита характерны тонкозернистые пойкилитовые выделения, имеющие размер от сотых долей до единиц микрометра. Часть пирита имеет неоднородное строение, наблюдается в коллоидных структурах в тонких сростках с галенитом и сфалеритом.

При разработке технологии обогащения колчеданной руды Корбалихинского месторождения, сложной по вещественному составу, были выбраны следующие направления исследований:

определение оптимальной крупности руды перед основными операциями медно-свинцовой флотации;

применение оттирки для раскрытия простых и полиметаллических сростков в операциях перечистки Cu-

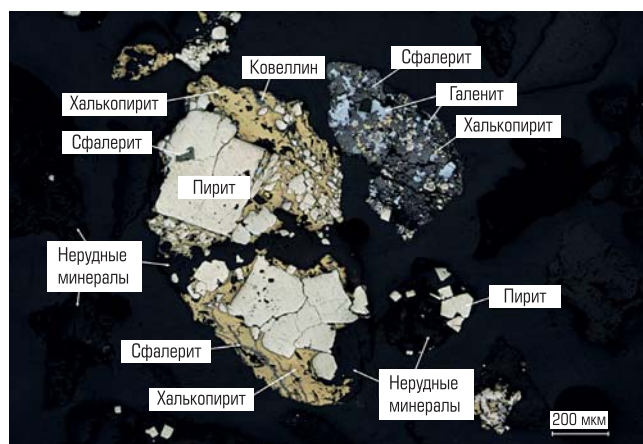


Рис. 3. Характерные сростки сульфидных минералов в исходной руде Корбалихинского месторождения. Крупность +0,2 мм. Отраженный свет, николи параллельны

идио-, гипидио- и аллотриаморфно-зернистая. Широко проявлены катакластические (раздробленные), коррозионные (скелетная, реликтовая, разъедания) структуры, неблагоприятные при процессах флотационного обогащения руд, а также коллоидные (скрытокристаллическая, концентрически-зональная, перлитовая) и распада твердых растворов (эмульсионная) структуры (**рис. 2–4**).

Границы сростания минералов в этих структурах неровные, зазубренные, что затрудняет их высвобождение при измельчении руды.

Широко распространены структуры распада твердого раствора халькопирита в сфалерите, при этом главный промышленный минерал меди имеет субмикроскопические размеры. Это проявляется также в тонких прорастаниях сфалерита в виде нитеобразных выделений в агрегатах халькопирита. Около 17 % меди в руде находится в структуре распада и при флотации переходит в цинковый концентрат.

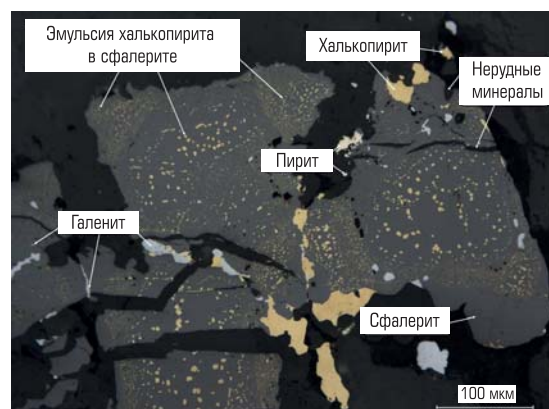


Рис. 4. Структура распада твердого раствора (эмульсия халькопирита в сфалерите), коррозионная микротекстура (агрегат сфалерита разъедается нерудным минералом). Отраженный свет, николи параллельны

Pb-концентрата, цинк-пиритной и цинковой флотации, очистки поверхности минералов в узле селекции Cu-Pb-концентрата;

- выбор селективного собирателя в каждом цикле флотации;
- разработка бесцианидной технологии селекции Cu-Pb-концентрата с минимальным использованием его в операциях Cu-Pb-флотации.

По результатам исследований разработана 4-стадийная технологическая схема измельчения с применением процесса полусамозмельчения в I стадии (**рис. 5**).

Она позволяет организовать 3-стадийную Cu-Pb-флотацию минералов меди и свинца по мере их раскрытия и минимизировать их потери со шламами. Крупность руды после II стадии измельчения составляет 70 % класса –74 мкм, после III стадии — 85 % и после IV стадии — 85 % класса –44 мкм.

Выбор основного рудоподготовительного оборудования про-

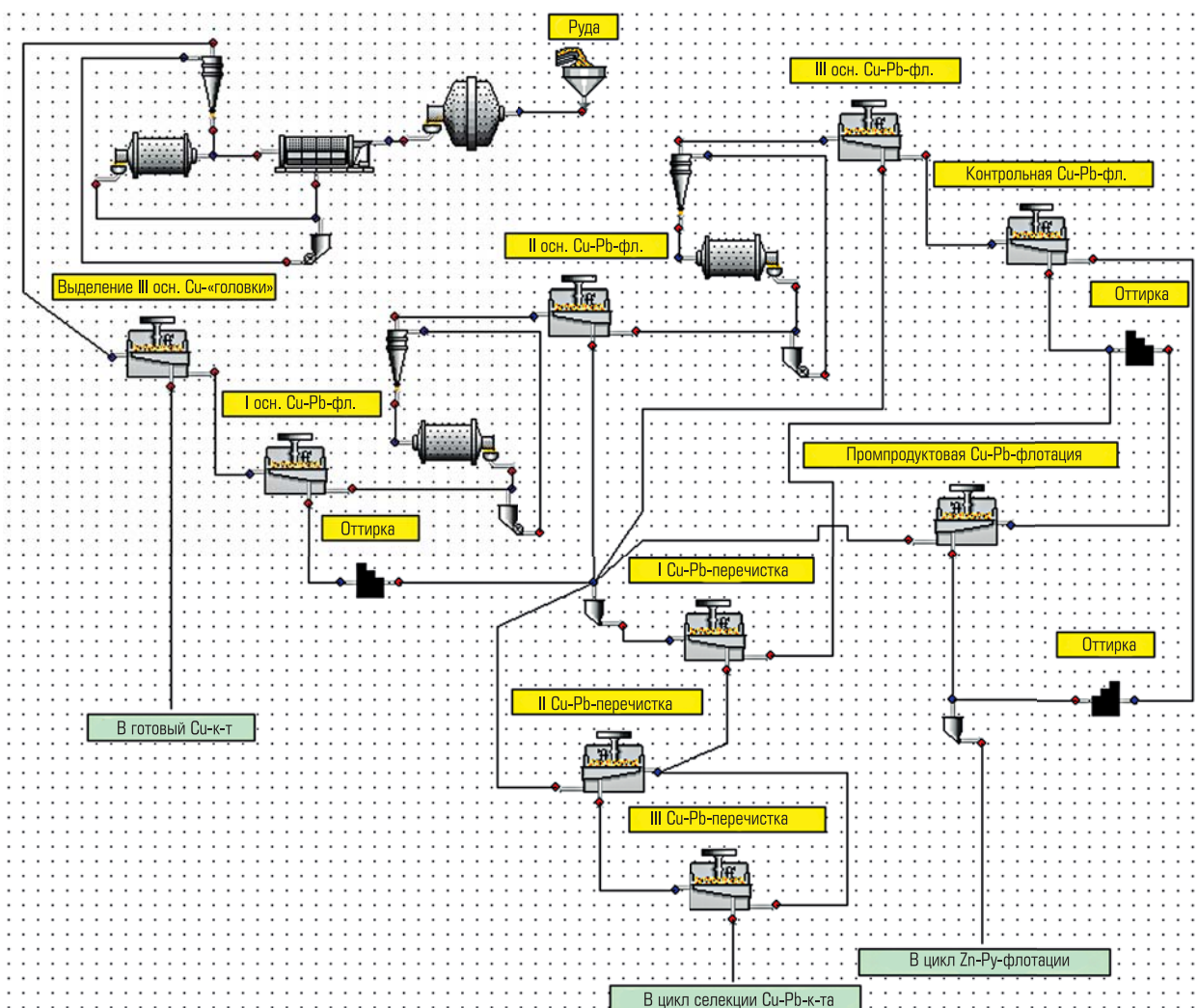


Рис. 5. Технологическая схема переработки руды Корбалихинского месторождения (рудоподготовка и Cu-Pb-цикл флотации)

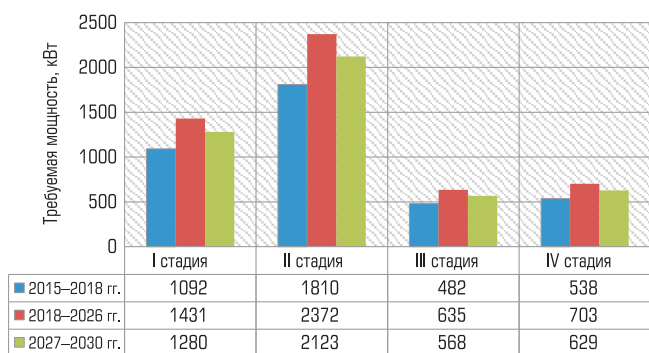


Рис. 6. Требуемые измельчительные мощности по стадиям и периодам работы фабрики

изведен с применением методов мощностного масштабирования по результатам изучения прочностных свойств руды (см. **ниже**).

Рабочий индекс дробления *CWI*, кВт·ч/т 6,55
 Рабочий индекс стержневого измельчения *RWI*, кВт·ч/т 19,35

Рабочий индекс шарового измельчения *BWI*, кВт·ч/т 14,82
 Индекс абразивности *AI*, г 0,268

С целью обеспечения регламентных показателей по рудоподготовке в период разработки Корбалихинского месторождения расчет требуемых измельчительных мощностей производился с учетом данных календарного графика горных работ (**рис. 6**).

Анализ требуемых измельчительных и полезных мощностей, развиваемых мельницами различных типоразмеров, позволяет рекомендовать к установке по стадиям измельчения следующие мельницы: ММС-70×23, МШЦ-4500×6000 (1 ед.) и МШЦ-3600×4500 (2 ед.).

Руда Корбалихинского месторождения характеризуется практически равным содержанием галенита и медных минералов, что является крайне неблагоприятным фактором для их разделения. Кроме того, присутствие в руде до 10 % (отн.) вторичных минералов меди, как правило, приводит к нарушению селективности при разделении минералов меди и свинца как по цианидной, так

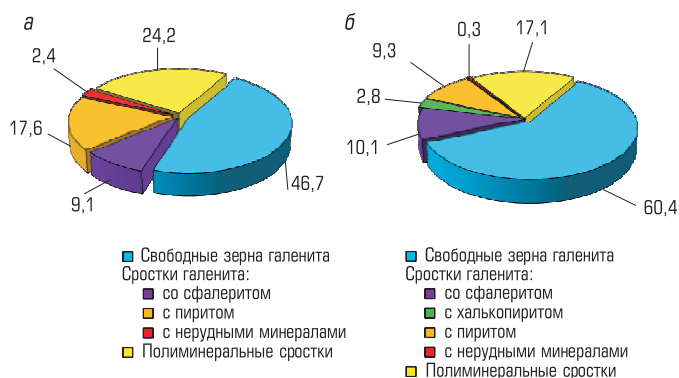


Рис. 7. Характер раскрытия галенита (%) в концентрате III Cu-Pb-перечистки до процесса оттирки (а) и после (б)

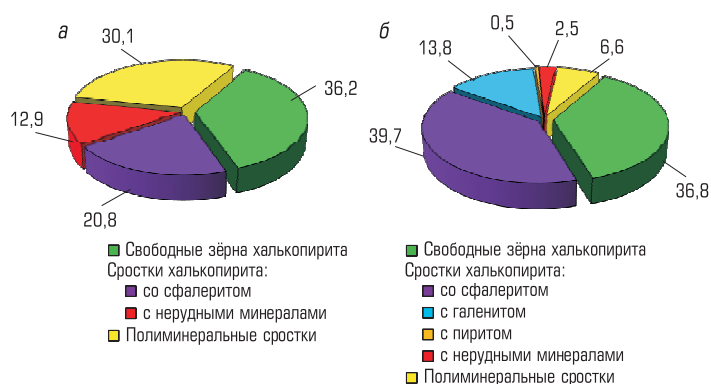


Рис. 8. Характер раскрытия халькопирита (%) в концентрате III Cu-Pb-перечистки до процесса оттирки (а) и после (б)

и по бесцианидной технологии. Для извлечения вторичных минералов и части халькопирита предусмотрена операция выделения медной «головки», которая к тому же способствует перераспределению соотношения содержания меди и свинца в пользу свинца перед Cu-Pb-разделением.

Выделение медных «головок» и основные операции Cu-Pb-цикла проводили в известковой среде при $pH = 9-9,5$ по бесцианидному режиму депрессии сфалерита сочетанием сульфида натрия и цинкового купороса в соотношении 1:2,5. Кроме того, испытывали следующие реагенты:

- пиросульфит натрия $Na_2S_2O_5$ для подавления флотации пирита;
- жидкое стекло для пептизации пульпы;
- карбоксиметилцеллюлозу для депрессии пироксена и шламистого галенита.

Исследованиями, проведенными на других рудах, установлено, что наиболее эффективным собирателем в операции медной флотации является реагент Aero-9863. Извлечение меди в медную «головку», содержащую 21 % меди, составило 40,6 %.

В качестве собирателя в Cu-Pb-цикле использовали собиратель Aegorphine-3418A. Предусмотрена подача цианида в perchистки Cu-Pb-концентрата в сочетании с цинковым купоросом (1:20) и операции флотации промежуточных продуктов в отдельном цикле также с использованием цианида.

Для анализа эффективности операции оттирки в рекомендуемой технологии проведены минералогические исследования продуктов флотации до и после процесса оттирки. Согласно результатам минералогического исследования концентрата III Cu-Pb-перечистки,

после оттирки доля свободных зерен галенита возрастает с 46,7 до 60,4 % (рис. 7).

Помимо увеличения доли свободных зерен, происходит высвобождение всех главных рудных минералов из сложных полиминеральных сростков в более простые при существенном снижении последних. Так, для халькопирита количество полиминеральных сростков уменьшается с 30,1 до 6,6%, при этом появляются простые сростки этого минерала с галенитом, возрастает доля его сростков со сфалеритом (рис. 8).

Разделение Cu-Pb-концентрата проводили после его десорбции и оттирки с сернистым натрием и активирован-

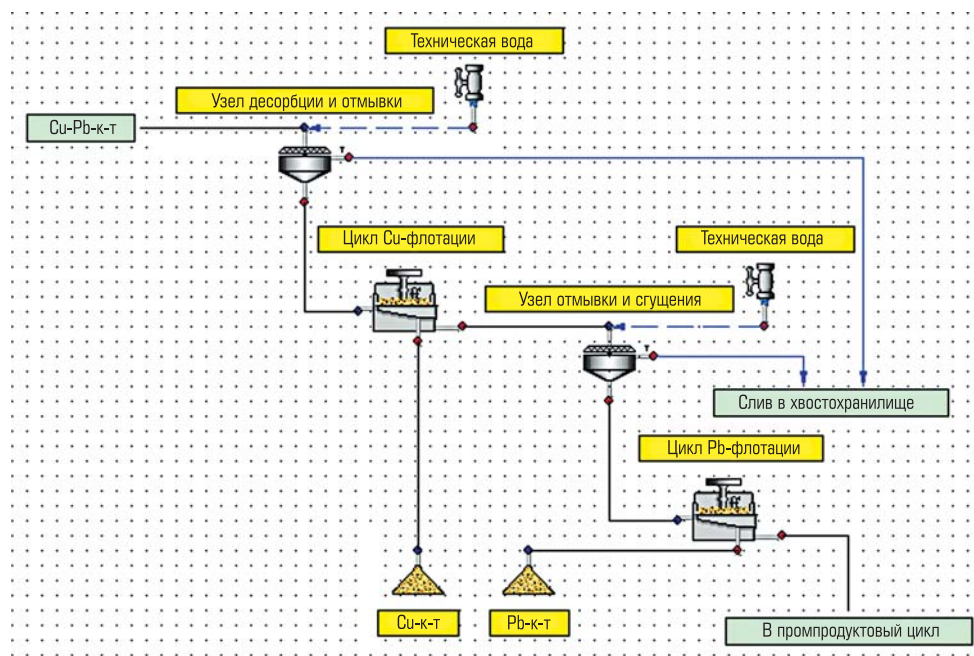


Рис. 9. Технологическая схема разделения Cu-Pb-концентрата

Ожидаемые проектные технологические показатели обогащения руды Корбалихинского месторождения на Рубцовской ОФ после ее реконструкции

Продукт	Выход, %	Содержание, %, г/т					Извлечение, %, %				
		Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Au	Ag
Cu-концентрат	3,25	21,05	3,24	7,22	1,69	190,05	74,36	4,02	3,79	10,41	11,98
Pb-концентрат	4,21	0,95	50	7,5	0,9	355	4,35	80,33	5,1	7,18	28,99
Zn-концентрат	9,99	1,3	1,46	52,7	0,8	114,6	14,12	5,57	85,1	15,14	22,21
Хвосты	82,55	0,08	0,32	0,45	0,43	23	7,18	10,08	6	67,27	36,83
Руда	100	0,92	2,62	6,19	0,53	51,56	100	100	100	100	100

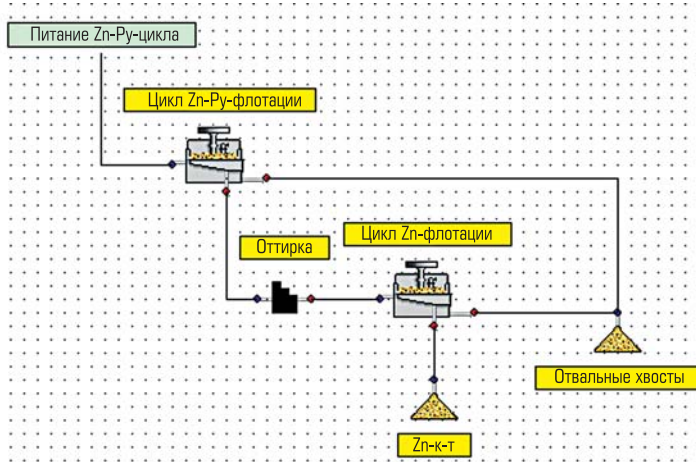


Рис. 10. Технологическая схема получения Zn-концентрата

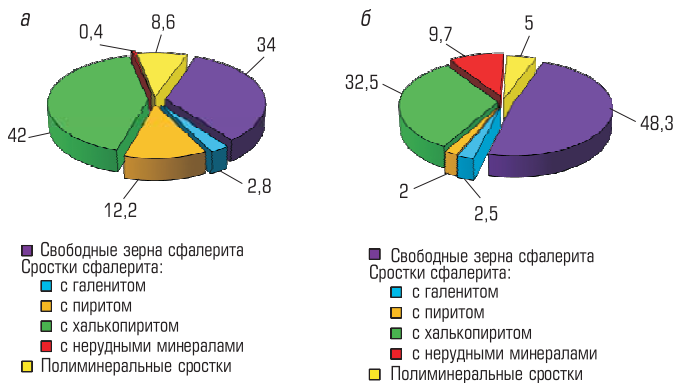


Рис. 11. Характер раскрытия сфалерита (%) в хвостах контрольной Cu-Pb-флотации до процесса оттирки (а) и после (б)

ным углем, отмывки свежей технической водой. Технология предусматривала депрессирование свинцовых минералов сочетанием пиросульфата натрия (1700 г/т), крахмала (140 г/т) при величине pH = 6,2÷6,4, создаваемой загрузкой серной кислоты (рис. 9), использование собирателя медных минералов Aero-9863 с получением медного концентрата пенным продуктом. Хвосты контрольной медной флотации после отмывки свежей технической водой направляли в свинцовый цикл, где в известковой среде отделяли галенит от пирита и сфалерита. Камерным продуктом без проведения этих операций свинцовый концентрат не был получен. Содержание

свинца в камерном продукте медного цикла флотации в замкнутых опытах составляло не более 30–35 %, а после проведения свинцовой флотации с одной переоткиской — 50–55 %.

Из хвостов Cu-Pb-цикла после их оттирки извлекается цинк-пиритный концентрат (рис. 10).

В хвостах контрольной Cu-Pb-флотации после применения оттирочного комплекса возрастает доля свободных зерен сфалерита (с 34 до 48,3 %), а также наблюдается раскрытие его полиминеральных сростков с образованием более простых с нерудными минералами (их доля увеличилась с 0,4 до 9,7 %) (рис. 11).

Эффективность операции оттирки перед Zn-Пу-флотацией была доказана при проведении замкнутых флотационных опытов, поставленных в исследовательской лаборатории ОАО «Сибирь-Полиметаллы» на оборотной воде. Содержание цинка в Zn-Пу-концентрате с оттиркой составило 33,06 %, а без оттирки 13,77 % при одинаковом его извлечении от операции (96 %). После проведения операции цинковой флотации содержание цинка в цинковом концентрате повысилось до 52 и 45 % соответственно.

Таким образом, разработанная технология обогащения полиметаллической руды Корбалихинского месторождения позволяет получать кондиционные свинцовый, медный и цинковый концентраты при извлечении в них одноименных металлов 74,36; 80,33 и 85,01 % (см. таблицу).

Технология предусматривает 100%-ый водооборот. Исследования показали, что он не окажет дополнительного отрицательного воздействия на экологическую обстановку в регионе.

По результатам лабораторных исследований разработан технологический регламент, который в июне 2014 г. был принят заказчиком для проектирования. В настоящее время ЗАО «РИВС-проект» разрабатывает рабочую документацию для реконструкции фабрики. **гж**

*Шумская Елена Николаевна,
Поперечникова Ольга Юрьевна,
Тихонов Николай Олегович:
e-mail: rivs@rivs.ru*

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 78–83

Title	Development of technology of concentration of complex pyrite polymetallic ore of Korbalikhinskoe deposit
Author 1	Name & Surname: Shumskaya E. N.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Principal Researcher
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: e-mail: rivs@rivs.ru
Author 2	Name & Surname: Poperechnikova O. Yu.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Head of subdivision
Author 3	Name & Surname: Tikhonov N. O.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Head of subdivision
Abstract	<p>Korbalikhinsky deposit is one of the richest zinc-bearing ore occurrences in Europe. The B+C₁ categories complex ore reserves total 24.8 Mt with the average content, %: Cu 1.44; Pb 2.1; Zn 9.57.</p> <p>Korbalikhinsky ore is planned to be treated by Rubtsovsk processing plant. After modernization, the plant output will grow from 750 thou t to 1.5 Mt. Development of the dressing technology for Korbalikhinsky complex sulphide ore was based on research findings in the following areas:</p> <p>Optimized size of the milling product before rougher copper–lead flotation circuits;</p> <p>Use of attrition to dissociate simple and complex aggregations in copper–lead concentrate scavenging, zinc–pyrite and zinc flotation and mineral surface cleaning in the copper–lead concentrate selection circuit;</p> <p>Selective collecting agent for each flotation circuit;</p> <p>Cyanide-free technology for selection of copper–lead concentrate at its minimized use in copper–lead flotation circuits.</p> <p>Developed after the technological and mineralogical research, the high effective dressing technology for Korbalikhinsky complex sulphide ore enables production of saleable lead, copper and zinc concentrates at the copper recovery of 74.36%, lead recovery of 80.33% and zinc recovery of 85.01%.</p> <p>The design procedures developed based on the laboratory research were accepted by the customer in June 2014. Currently RIVS-Proekt Ltd works out engineering documentation for modernization of Rubtsovsk processing plant.</p>
Keywords	Rebellious sulphide ore, flotation, attrition, copper–lead concentrate selection, flotation agents.

УДК 622.765

А. А. БОБРАКОВА, А. В. КУПЦОВА (ЗАО «НПО «РИВС»)
Т. Н. АЛЕКСАНДРОВА (НМСУ «Горный»)

ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ



А. А. БОБРАКОВА,
инженер-технолог



А. В. КУПЦОВА,
минералог



Т. Н. АЛЕКСАНДРОВА,
зав. кафедрой,
д-р техн. наук

Как правило, к рудам комплексного типа относят медно-молибденовые и медно-вольфрамовые. Кроме этих металлов, наряду с молибденом встречаются и другие, представляющие промышленный интерес, в том числе бериллий, литий, олово, уран. Схемы обогащения редкометалльного сырья, как правило, комбинированные, включающие гравитационные¹ переделы. Последовательность операций определяется как содержанием извлекае-

© Бобракова А. А., Купцова А. В., Александрова Т. Н., 2014

¹ Для касситерита и вольфрамита.

Основным источником получения молибдена являются медно-порфиновые руды. Комплексность использования руд этого типа хрестоматийна и позволяет поддерживать экономические показатели предприятий на высоком уровне. Однако для предприятий, перерабатывающих молибденосодержащие руды скарного и жильного типа, поддержание рентабельности весьма сложная задача. Причина — низкий выход собственно молибденового концентрата и, соответственно, ограниченная прибыль по этому виду товара. Поэтому расширение номенклатуры товарной продукции за счет выпуска дополнительных видов концентратов представляется весьма актуальным. Поскольку породообразующая масса представлена, как правило, силикатами и алюмосиликатами, целесообразным представляется развитие технологий получения концентратов нерудного сырья.

Ключевые слова: молибденовые руды, обезжелезнение, алюмосиликаты, жирнокислотные собиратели.