

УДК 622.765

Ю. П. НАЗАРОВ (ЗАО «НПО «РИВС»)

ИЗЫСКАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ФАБРИКАХ



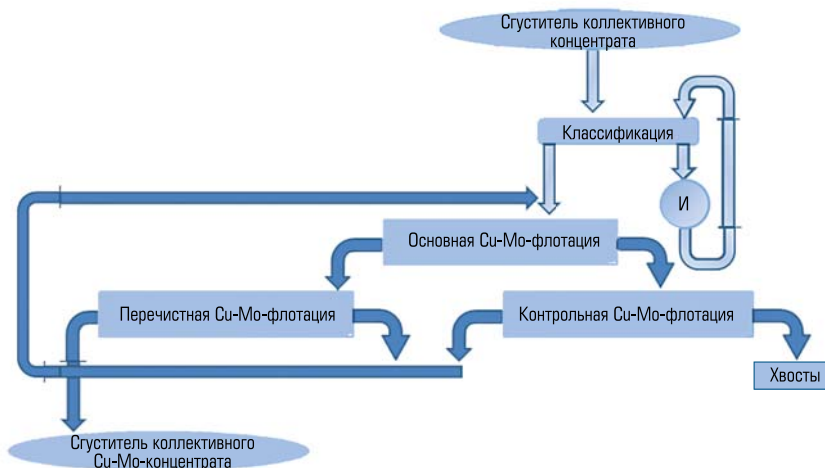
Ю. П. НАЗАРОВ,
директор
департамента,
канд. техн. наук

Обогатительная фабрика (ОФ) КООП «Эрдэнэт» перерабатывает комплексные медно-молибденовые руды месторождения Эрдэнэтийн-Овоо с получением медного (содержание меди 23,5 %) и молибденового концентратов. В связи с изменением конъюнктуры по меди и возросшими тарифами на перевозку концентратов актуализируется разработка технологии получения высококачественного медного концентрата с размещением цикла доводки на ограниченных площадях действующего предприятия при сохранении в основе реагентного режима ОФ. Лабораторными исследованиями показана возможность решения данной задачи по двум вариантам схем: с выводом медной «головки» и по схеме с отдельной флотацией песковой и шламовой фракций. По результатам исследований рекомендована к проектированию и в настоящее время реализована на ОФ схема доводки медного концентрата. Подход поддается тиражированию на аналогичных предприятиях отрасли.

Ключевые слова: КООП «Эрдэнэт», медно-молибденовые руды, флотация, медный концентрат.

Традиционно схемы переработки Cu-Mo-руд предусматривают цикл коллективной флотации с получением Cu-Mo-концентрата. Далее осуществляется либо его доводка с получением кондиционного по меди коллективного концентрата¹, либо непосредственная селекция коллективного концентрата с организацией автономных медного² и молибденового перерывных циклов. Первый вариант является базовым для предприятий, перерабатывающих медно-порфиновые руды.

Рис. 1. Принципиальная схема медно-молибденовой флотации на ОФ КОО «Предприятие Эрдэнэт» (И — измельчение)



Примером предприятия с реализацией данного варианта схемы является КОО «Предприятие Эрдэнэт». Технологический цикл доводочной флотации включает, в том числе, сгущение и отмывку коллективного концентрата (рис. 1). Разгрузка сгустителя, накапливающего и усредняющего коллективные концентраты (содержание меди 13–17 %, молибдена 0,3–0,5 %) со всех шести секций, является питанием доводочного узла, по терминологии, принятой на ОФ, — медно-молибденовой флотации. Разгрузка сгустителя коллективного концентрата доизмельчается в мельнице МЦЦ-3200×4500, работающей в замкнутом цикле с двумя гидроциклонами ГЦ-500, и поступает в цикл Cu-Mo-флотации.

Пенный продукт перерывной флотации является готовым Cu-Mo-концентратом, который поступает в сгуститель для отмывки и сгущения. Хвосты контрольной Cu-Mo-флотации являются отвальным продуктом.

Основная задача узла Cu-Mo-флотации — получение кондиционного по содержанию меди (23,5 %) Cu-Mo-концентрата. Поставленная цель решается проведением операций флотации доводочного цикла в известковой среде — в основной флотации содержание CaO составляет до 400–500 мг/л, в перерывной — до 700 мг/л. Далее Cu-Mo-концентрат поступает на селекцию, при этом Cu-концентрат получается камерным продуктом молибденовой флотации.

© Назаров Ю. П., 2014

¹При последующей селекции медный концентрат получается камерным продуктом.

²Возможна также организация пескового и шламового медных циклов.

Таблица 1. Показатели работы обогатительных предприятий, перерабатывающих медно-молибденовые руды

Обогатительная фабрика	Содержание в руде, %		Содержание меди в концентрате, %	Извлечение меди, %
	Cu	Mo		
Island Copper	0,5	0,02	25	85
Gaspe	0,66	0,02	30	90
Granisle Copper	0,43	0,01	25	85
Morency	0,5	0,01	25	85
Twin Butte	0,5	0,02	28	76
Dos Altosa	0,42		28	82
Palabora SA	0,55		32,5	83

В мировой практике переработки медно-порфириновых руд с сопоставимыми содержаниями меди и молибдена и объемом переработки получаемые на фабриках медные концентраты содержат, как правило, 25 % и более Cu (табл. 1).

При всей условности аналогий³ можно констатировать, что определенный резерв в повышении качественных показателей получаемого на ОФ «Эрдэнэт» медного концентрата имеется. Содержание меди в одноименном концентрате, помимо минералогических особенностей, является, как правило, функцией последующего металлургического передела. Административная соподчиненность предприятия (фабрика входит в состав ГМК), региональная доступность металлургического завода, простота логистических решений при перевозке концентратов обуславливают получение низкокачественных концентратов, но при высоком извлечении металла. Высокие транспортные издержки, наоборот, обуславливают развитие технологий, направленных на получение высококачественных, вплоть до суперконцентратов.

Изменение конъюнктуры по меди, необходимость диверсификации потребителей продукции предопределяют необходимость разработки технологии⁴ получения высококачественных концен-

Таблица 2. Химический состав пробы

Элемент	Cu	Mo	Fe _{общ}	S _{общ}
Среднее содержание, %	13,1	0,37	22,1	27,9
Диапазон содержаний, %	13–17	0,3–0,4	20–25	25–30

Таблица 3. Фазовый состав пробы

Соединения меди	Содержание, %	
	абсолютное	относительное
Окисленные	0,6	4,6
Вторичные	5,07	38,7
Первичные	7,43	56,7
Всего	13,1	100

³Соотношение первичных и вторичных минералов меди; характер вкрапленности, содержание пирита в руде и т. д.

⁴И, соответственно, изменение существующих на ОФ схемных решений.

тратов на действующих предприятиях без существенных капитальных издержек. Анализ технологических решений, реализуемых на предприятиях, перерабатывающих аналогичные виды сырья, показывает, что наибольшее распространение получают пути повышения качества Cu-концентрата, связанные с изменением прежде всего реагентного режима ОФ с использованием более селективных реагентов-собирающих, что сопряжено с увеличением себестоимости товарной продукции.

Целью исследований являлось повышение содержания меди в Cu-Mo-концентрате до 27 % посредством реорганизации технологической схемы цикла, без снижения извлечения металла.

Вещественный состав питания узла Cu-Mo-флотации

Материалом для исследований служила проба разгрузки сгустителя коллективного концентрата. Петрографические и минералогические исследования продуктов опробования проводили в минералогической лаборатории НПО «РИВС». Химический и фазовый состав представительной пробы приведены в табл. 2 и 3.

Минеральный состав

Минералы меди в пробе представлены (% абс.) халькопиритом (20), ковеллином (5,3), борнитом (1,5), теннантитом (0,5) и халькозином (0,3). Халькопирит так же, как и халькозин, раскрыт практически на 75 %, основные сростки образуют с ковеллином (14,4) и борнитом (12,2) % (отн.) соответственно. Вторичные минералы меди раскрыты на 50 % (борнит) и на 40 % (ковеллин), сростки образуют, как правило, друг с другом или с халькопиритом, замещая его (рис. 2). Для минералов меди, находящихся в свободном состоянии и в сростках, характерно преобладание зерен крупностью +10 мкм. Молибденит в пробе наблюдается в виде свободных зерен, чаще в виде удлиненных чешуек, реже — таблитчатой формы. Пирит на 80 % присутствует в свободных

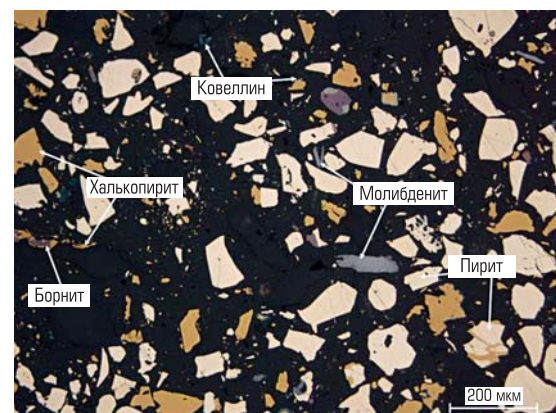


Рис. 2. Проба разгрузки сгустителя коллективного концентрата. Отраженный свет, николи параллельны. Темные зерна с рельефом — нерудные минералы



Рис. 3. Гранулометрический состав пробы

зерна, основная часть сростков представлена сростками с минералами меди.

Гранулометрический состав пробы исследован на анализаторе Mastersizer. Результаты приведены на **рис. 3**.

Таким образом, при анализе пробы коллективного концентрата можно отметить следующие особенности:

- руда, поступающая на ОФ в период опробования, характеризуется высокой (>50 %) долей первичных минералов меди;
- сростки минералов меди с нерудными минералами практически отсутствуют, характерным является взаимопроращение сульфидных минералов;
- первичные минералы меди практически на 75 % присутствуют в раскрытом виде;
- степень раскрытия вторичных минералов меди находится в интервале от 40 (ковеллин) до 75 % (халькозин);
- широкий диапазон крупности зерен рудных минералов (от 0,01 до 0,3 мм и более); присутствие тонких взаимопроращений минералов.

В целом как минеральный состав, так и степень раскрытия сульфидов являются благоприятными факторами для разработки технологии получения медного суперконцентрата, причем последний фактор предопределяет возможность раздельной переработки песковой и шламовой фракций питания доводочного цикла.

Анализ возможных вариантов технологической схемы

С учетом особенностей раскрытия минералов наиболее рациональными представляются технологии доводки коллективного цикла по следующим схемам:

- выделение Си-«головки» (**рис. 4**), содержащей не менее 25 % меди, доизмельчение камерного продукта и доводка его в пересчетном цикле до содержания меди 27–28 % с получением объединенного Си-Мо-продукта, содержащего не менее 27 % меди; основная технологическая проблема — выбор точки возврата промпродукта;
- разделение исходного коллективного концентрата на песковую и шламовую фракции (**рис. 5**), автономная их переработка и последующее объединение соответствующих продуктов.

Прямой путь дораскрытия сростков — доизмельчение всей массы концентрата до крупно-



Рис. 4. Вариант схемы с выделением Си-«головки»

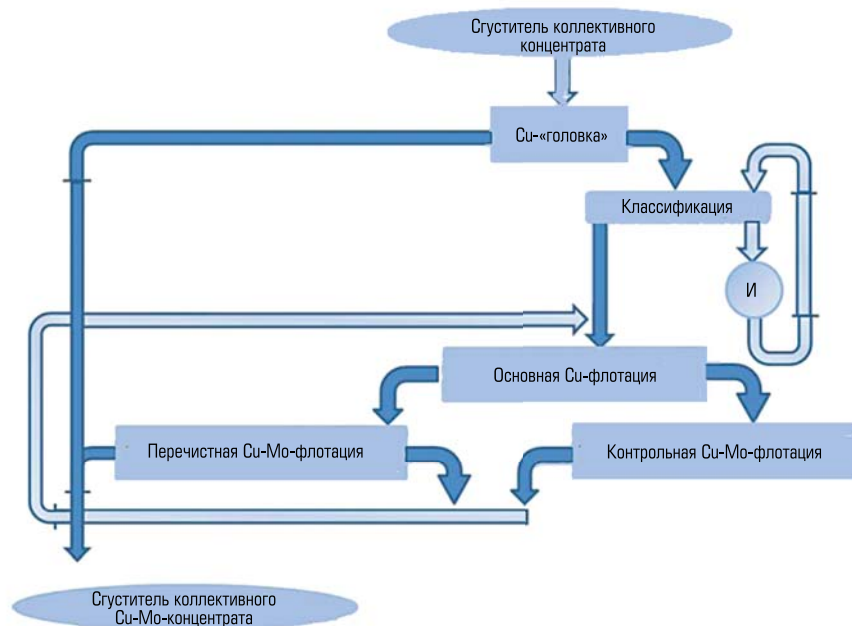


Рис. 5. Вариант схемы с раздельной флотацией песковой и шламовой фракций (И — измельчение)

сти, оговоренной результатами минералогического анализа, с последующей флотацией по канонической схеме⁵ позволил получить медный концентрат, содержащий не более 25–25,8 % меди. Невозможность получения высококачественного Cu-концентрата по фабричному режиму обусловлена невысоким (не более 50–60 мг/л) остаточным содержанием CaO, соответствующим показателям в коллективной флотации. С целью упрощения реагентного режима в доводочном цикле принято решение ограничиться фабричным реагентным режимом. Высокая активность пирита медно-порфирировых руд месторождения Эрдэнэтийн-Овоо в слабощелочной среде предопределяет его повышенный выход в пенный продукт и, как следствие, низкое содержание меди. Основной метод повышения содержания меди в пенном продукте, практикуемый на ОФ, это флотация в известковой среде. Регламентное содержание CaO в доводочном цикле — 750–900 мг/л в основной флотации и 850–950 мг/л в перешливающей. Тем не менее, по данным опробований за последний год, концентрация CaO в переделе составляет 500–700 мг/л. При этом неоднократно установлено, что концентрация CaO более 300–400 мг/л сопровождается существенным подавлением флотации молибденита⁶.

По результатам опытов подтверждено одно из положений практики работы доводочного цикла — экстремальную зависимость содержания и извлечения меди в пенный продукт основной флотации от концентрации CaO. С ростом концентрации CaO возрастают и извлечение, и содержание меди, но в интервале содержаний 500±50 мг/л и выше технологические показатели снижаются. Кроме того, показана возможность получения Cu-«головки», содержащей 25–25,5 % и более меди при извлечении ~50 % и более.

Таким образом, можно сформулировать следующие основные положения формирования технологической схемы, предусматривающей выделение Cu-«головки»:

- проведение флотации при остаточной концентрации CaO в водной фазе пульпы в интервале 400–500 мг/л;
- доизмельчение разгрузки 3-го сгустителя до крупности не менее 95 % класса –74 мкм;

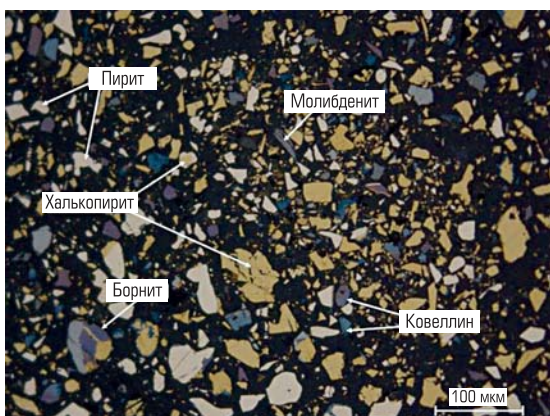


Рис. 6. Проба Cu-«головки». Отраженный свет, николи параллельны. Темные зерна с рельефом — нерудные минералы

- промпродукт направлять либо в операцию классификации, либо в питание основной Cu-Мо-флотации;
- возможно введение в процесс реагента-модификатора с целью подавления флотации шламистых частиц алюмосиликатов.

Технологические схемы с выделением Cu-«головки»

Таким образом, принципиальными вопросами формирования схемы являются следующие:

- соотношение извлечения меди в «головку» и концентрат медной перешливающей;
- точка возврата промпродукта.

Следует подчеркнуть, что выбор точки возврата промпродукта в технологической схеме доводочного цикла является принципиальным вопросом для ОФ «Эрдэнэт». В последнее время промпродукт направляли или в основную доводочную операцию, или в основную Cu-Мо-флотацию, или в сгуститель коллективного концентрата. Оптимальное решение не достигнуто, поскольку предлагаемые варианты носят ситуационный характер и обусловлены прежде всего составом коллективного концентрата. Согласно результатам минералогического анализа следует, что медные минералы в основной массе раскрыты и во избежание их переизмельчения целесообразно промпродукт направлять в операцию основной Cu-Мо-флотации.

По обеим конкурирующим схемам выполнены замкнутые опыты с формированием внутрциклового водооборота. По результатам циклических опытов показано, что при возврате промпродукта в операцию Cu-Мо-флотации гарантировано получение объединенного Cu-концентрата, содержащего 27,3 % меди при извлечении 97,7 %; при альтернативной конфигурации схемы получаемый концентрат содержит 28,5 % меди при извлечении 96,9 %.

С целью оценки состава технологических продуктов, полученных по двум вариантам схем, проведен их минералогический анализ.

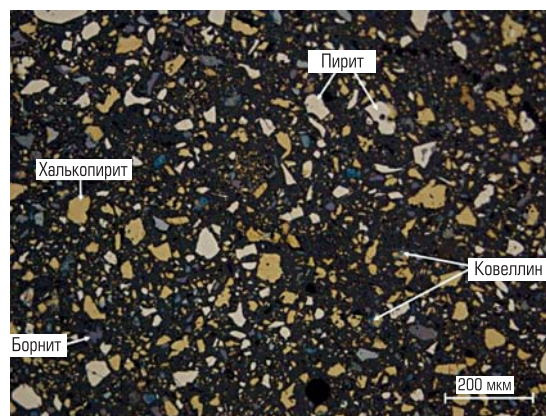


Рис. 7. Проба концентрата Cu-перешливающей. Отраженный свет, николи параллельны. Темные зерна с рельефом — нерудные минералы

⁵Схема реализована в доводочном цикле ОФ.

⁶Потери молибдена в доводочном цикле составляют до 30 % (отн.).

Минераграфическое описание продуктов замкнутого опыта, выполненного по схеме с выделением медной «головки»

Фотографии пробы Cu-«головки» и концентрата Cu-перечистки приведены на **рис. 6 и 7**.

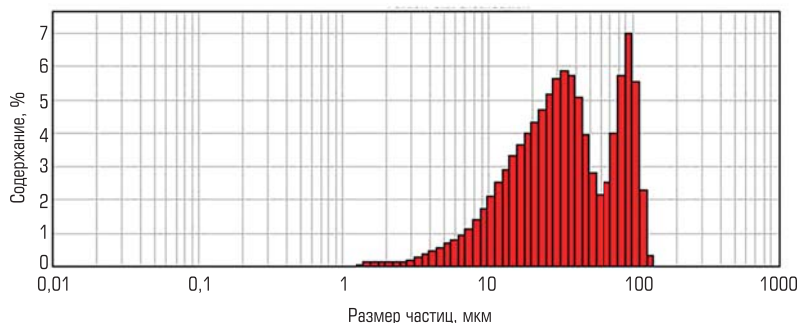


Рис. 8. Гранулометрический состав Cu-«головки»

Медная «головка» представлена преимущественно раскрытыми зернами медных минералов: халькопирит раскрыт на 92 %, борнит — на 79 %, халькозин и ковеллин — на 55 %. Следует отметить также и высокое содержание свободных зерен пирита — 88 %, при этом общее его содержание (35,4%) сопоставимо с содержанием халькопирита (42,5%).

Распределение минералов в концентрате I перечистки по крупности и содержанию сростков частично соответствует распределению минералов в Cu-«головке», однако имеется ряд особенностей: доля свободного пирита снижена с 88 до 52 %, что свидетельствует об определенной эффективности перечистки операции; содержание молибденита возросло с 0,4 до 0,9 %. Гранулометрический состав Cu-«головки» приведен на **рис. 8**.

Результаты минераграфических анализов медных концентратов, полученных по схемам с различным вариантом возврата промпродуктов, свидетельствуют об их практически аналогичном составе, существенное отличие относится к сросткам борнита, большая часть которых представлена фракцией 40–100 мкм.

Технологическая схема с разделением коллективного концентрата на песковую и шламовую фракции

Альтернативной схеме с выделением Cu-«головки» является схема с разделением коллективного концентрата на песковую и шламовую фракции с их последующей раздельной переработкой. Далее конечные одноименные продукты объединяются (см. рис. 5). Подобный вариант схемы реализован на ОФ Зангезурского ГМК. Разделение коллективного концентрата на песковую и шламовую фракции осуществляли по зерну 45 мкм.

Гранулометрический состав фракций приведен на **рис. 9 и 10**. Химический и фазовый составы питания доводочного цикла с разделением на песковую и шламовую фракции приведены в **табл. 4 и 5** соответственно.

При сопоставлении данных по степени раскрытия минералов во фракциях (**рис. 11 и 12**) коллективного концентрата примечательно соотношение раскрытых зерен первичных и вторичных минералов меди: в песковой фракции содержание раскрытых зерен халькопирита 84 % против 93 % в шламовой, в то время как содержание раскрытых зерен вторичных минералов меди и пирита практически одинаково. Доля раскрытых минералов меди в песковой фракции около 21 %, а в шламовой 31 %. Если в песковой фракции раскрытый халькопирит в классе –10 мкм практически отсутствует, то в шламовой фракции его содержание достигает 51 %. Таким образом, если достаточно сложно прогнозировать высокое качество медного концентрата по шламовой схеме, то гарантировать высокое извлечение меди в пенный продукт можно.

Сводные данные замкнутого опыта по схеме с раздельной флотацией песковой и шламовой фракций приведены в **табл. 6**.

Принципиальные отличия режимных параметров переработки песковой и шламовой фракций заключаются в следующем:

- песковую фракцию доизмельчают до крупности 90 % класса –74 мкм;
- реагентный режим для песковой фракции предусматривает использование второго собирателя — дизельного топлива;
- реагентный режим для шламовой фракции дополнен де-

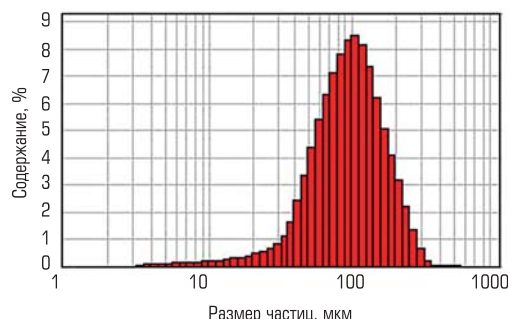


Рис. 9. Гранулометрический состав песковой фракции

Таблица 4. Химический состав коллективного концентрата

Элемент	Cu	Mo	Fe _{общ}	S _{общ}
Песковая фракция	10,1	0,38	24,5	29,9
Шламовая фракция	15,9	0,38	21,5	27,3

Таблица 5. Фазовый состав коллективного концентрата

Соединения меди	Песковая фракция		Шламовая фракция	
	Содержание, %			
	абсолютное	относительное	абсолютное	относительное
Окисленные	0,27	2,67	0,97	6,10
Вторичные	3,55	35,15	6,47	40,69
Первичные	6,28	62,18	8,46	53,21
Всего	10,1	100	15,9	100

Таблица 6. Технологические показатели замкнутого опыта

Продукт	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Cu	Mo	Fe	Cu	Mo	Fe
Песковый Cu-Мо-концентрат	14,91	32,34	0,612	22,84	34,82	34,35	18,64
Шламовый Cu-Мо-концентрат	31,74	27,17	0,444	27,15	62,3	53,06	47,17
Суммарный Cu-Мо-концентрат	46,65	28,82	0,498	25,77	97,12	87,41	65,81
Хвосты песковой контрольной флотации	32,09	0,64	0,038	14,67	1,48	4,59	25,77
Хвосты шламовой контрольной флотации	21,26	0,91	0,1	7,23	1,4	8	8,42
Общие хвосты	53,35	0,75	0,063	11,71	2,88	12,159	34,19
Исходное питание	100	13,84	0,266	18,27	100	100	100

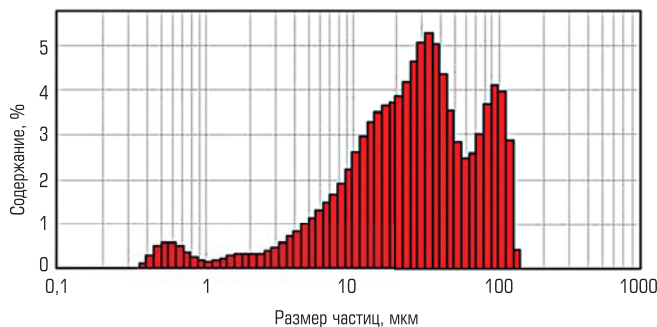


Рис. 10. Гранулометрический состав шламовой фракции

прессором с целью подавления флотации шламистых алюмосиликатов;

- расход основного собирателя в основной шламовой флотации увеличен до 60 г/т, в контрольной — до 30 г/т;
- содержание твердого в основной шламовой флотации уменьшено вдвое — до 15 %.

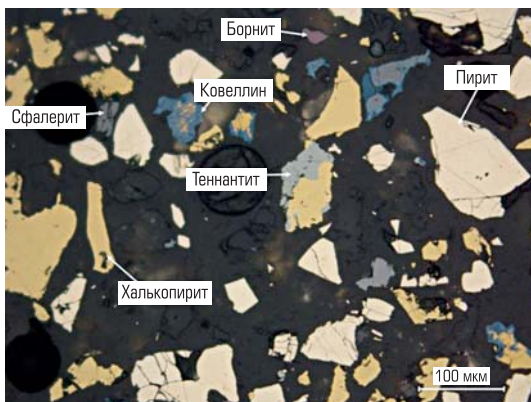


Рис. 11. Песковая фракция коллективного концентрата. Отраженный свет, николи параллельны. Темные зерна с рельефом — нерудные минералы

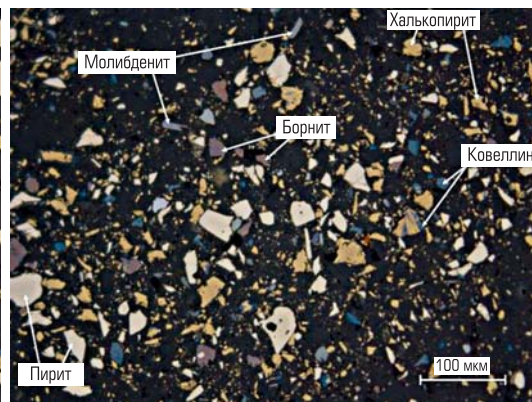


Рис. 12. Шламовая фракция коллективного концентрата. Отраженный свет, николи параллельны. Темные зерна с рельефом — нерудные минералы

Минераграфическое описание концентратов, полученных при отдельной переработке песковой и шламовой фракций

Концентрат флотации песковой фракции. При суммарной степени раскрытия сульфидов меди до 60 % наблюдаются (рис. 13) сложные сростки сульфидов меди друг с другом, с пиритом, сфалеритом, а также халькопирита с молибденитом и молибденита с нерудными минералами.

Концентрат флотации шламовой фракции. Наблюдается существенно более низкое (на

20 % абс.) содержание халькопирита (рис. 14), доля раскрытых зерен халькопирита меньше на 15 %. По ковеллину картина обратная: при равном содержании в концентратах в песковой фракции доля раскрытого ковеллина меньше почти вдвое. То же относится и к борниту. Существенно разная степень раскрытия зерен пирита: в песковой фракции — 9 %, в шламовой фракции она повышается до 33 %. Суммарное содержание раскрытых минералов меди составляет около 52 %.

По результатам анализа полученных данных можно отметить следующее:

- выход песковой и шламовой фракций сопоставим — 47 и 53 % соответственно;
- содержание меди в концентрате перераспределения песковой фракции составило 32,34 %, в концентрате перераспределения шламовой фракции 27,17 %, причем выход последнего практически вдвое выше — 31,74 % против 14,91 %;
- объединенный Cu-Мо-концентрат содержит 28,82 % меди

(при извлечении от операции 97,12 %) и 0,498 % Мо, извлечение от операции 87,4 %; отвальные хвосты содержат 0,75 % меди и 0,063 % молибдена.

Выводы

При разработке технологии получения медного суперконцентрата (содержание меди не ниже 27 % без снижения извлечения) из коллективного концентрата ис-

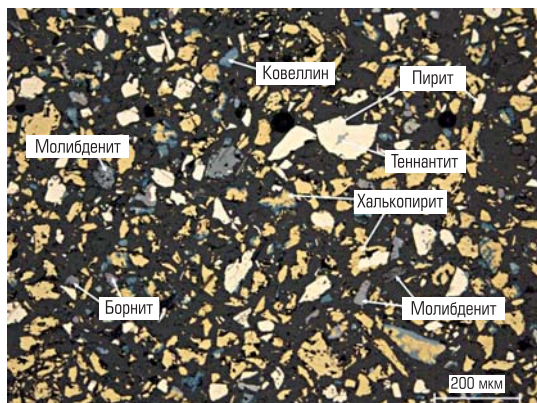


Рис. 13. Концентрат песковой фракции. Отраженный свет, николи параллельны. Темные зерна с рельефом — нерудные минералы



Рис. 14. Концентрат шламовой фракции. Отраженный свет, николи параллельны. Темные зерна с рельефом — нерудные минералы

ческой схеме и в соответствии с разработанным реагентным режимом достигнуты следующие технологические показатели переработки коллективного концентрата — концентрат доводки, содержащий 28,5 % меди при извлечении 96,93 % (от операции).

В настоящее время схема доводочного цикла с выделением Cu-«головки» уже реализована на резервной нит-

пытаны следующие варианты технологических схем (с сохранением в целом реагентного режима ОФ):

- выделение Cu-«головки»;
- раздельная переработка песковой и шламовой фракций с последующим объединением конечных продуктов.

По рекомендуемой (с выделением Cu-«головки») технологи-

ке обогатительной фабрики. Полученные решения могут быть применены на аналогичных предприятиях с определенными схемами модификациями. ГЖ

Назаров Юрий Павлович,
e-mail: rivs@rivs.ru

"GORNYI ZHURNAL"/"MINING JOURNAL", 2014, № 11, pp. 49–55

Title	Searching of ways of increasing of copper concentrates quality in the time of concentration of copper-molybdenum ores at working factories
Author 1	Name & Surname: Nazarov Yu. P.
	Company: RIVS Science and Production Association (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Director of department
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: e-mail: rivs@rivs.ru
Abstract	Erdenet Mining Corporation preparation plant processes Erdenetiin Ovoo complex copper–molybdenum ore and produces copper (copper content of 23.5 %) and molybdenum concentrates. At the present time, in view of the change in the copper market trends and the increased concentrate haulage rate, it is expedient to develop a process for production of high quality copper concentrates. The difficulty of the task is conditioned by the requirement to accommodate the aftertreatment cycle inside of the limited area of the operating plant with the adherence to the actual chemical reagent conditions of the given plant. The laboratory tests showed produceability of the copper concentrate (copper content not less than 27 % and copper loss per cycle not higher than 3 %) using two circuits: withdrawal of the first concentrate portion with the highest content of copper (termed "head as against "tailings") from the flotation circuit; separate flotation of sand and slime fractions. From the research evidence, the flotation circuit with the "head" withdrawal and the rest copper concentrate aftertreatment has been recommended and implemented. The project is adaptable at the similar processing plants.
Keywords	Erdenet Mining Corporation, copper–molybdenum ore, flotation, copper concentrate.