

В.К. Рябкин, И.В. Чепрасов, А.В. Тихвинский

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ОБОГАЩЕНИЯ РУД ЧЕРНЫХ, ЛЕГИРУЮЩИХ
МЕТАЛЛОВ ПОЛИХРОМНЫМ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ
МЕТОДОМ СЕПАРАЦИИ**

Часть 1 (Окончание в №12)

Исследования проводились на сепараторе Optosort Gemstar 300 по классам крупности -20+5 мм на пробах карбонатной марганцевой руды Усинского месторождения, хромовой руды Сарановского месторождения, комплексных рудах Калгутинского месторождения и медно-молибденовой руды Сорского месторождения. Полученные результаты являются достаточными для проведения лабораторных технологических испытаний на представительных пробах руд.

Ключевые слова: радиометрическая сепарация, полихромная фотометрическая сепарация, родохрозит, хромшпинелид, молибденит, вольфрамит.

В современной горнодобывающей промышленности отмечается тенденция снижения качества руд, что приводит к ухудшению технико-экономических показателей освоения месторождений. Решение этой проблемы возможно с помощью применения методов крупнокускового радиометрического обогащения, которые позволяют: перерабатывать и вовлекать в разработку руды с низким содержанием полезного компонента; сократить объемы горной массы, поступающей на дальнейшее обогащение на 20—80 %, что позволяет повысить экономическую и технологическую эффективность переработки руд. Так же данные методы уже на стадии предварительного обогащения позволяют на некоторых типах руд получать кондиционные концентраты, пригодные для дальнейшей металлургической переработки. Радиометрическое обогащение является «сухим» методом переработки руд, что благоприятно сказывается на экологии горного производства.

Из более чем двадцати известных методов радиометрического обогащения рудного сырья наибольшее развитие получили авторадиметрический (АРС), рентгенорадиометрический (РРС), рентгенолюминесцентный (РЛС) и фотометрический (ФМС) методы сепарации. Новым перспективным методом крупнокускового обогащения является метод полихромной фотометрической сепарации (ПФМС).

Принцип действия современных фотометрических сепараторов показан на рис. 1. Сепарируемый материал, подаваемый лентой транспортера либо вибропитателем по стабильной траектории, попадает в зону измерения, где освещается лампами. Цифровая видеокамера фиксирует цветное изображение каждого объекта (куска) и его отображение передает на высокоскоростной компьютер. В компьютере специальная программа определяет цветовые характеристики объекта, классифицирует, сравнивая

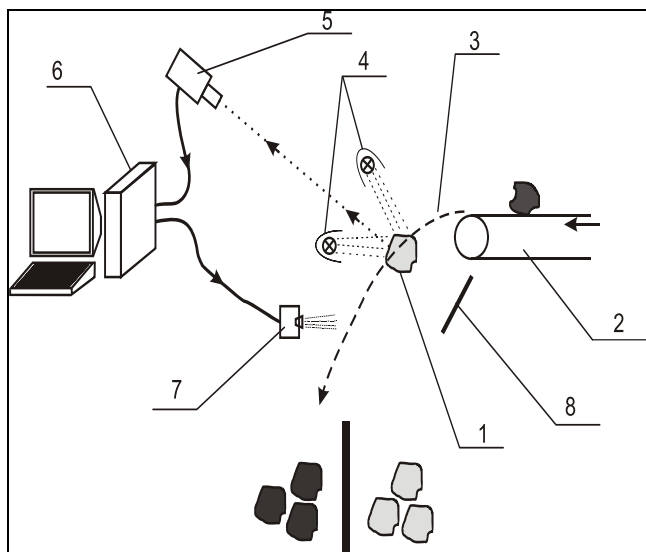


Рис. 1 Принципиальная схема фотометрического сепаратора: 1 – оцениваемый кусок; 2 – лента транспортера; 3 – траектория куска; 4 – лампы; 5 – видеокамера; 6 – компьютер; 7 – пневмоклапаны; 8 – фоновая подложка

по цветовым признакам с заданным признаком разделения, и принимает решение о выделении его с помощью исполнительного механизма (пневмоклапанов), воздействие которого отклоняет кусок от траектории общего потока кусков, сформированного в виде монослоя.

Принцип получения и анализа изображения в полихромном фотометрическом сепараторе следующий. Отраженный от кусков световой поток через оптическую систему цифровой

видеокамеры проецируется на ПЗС-матрицу. ПЗС (CCD)-матрица, так называемый «прибор с зарядовой связью», является аналоговой интегральной микросхемой, состоящей из светочувствительных фотодиодов (пикселей). В течение временного интервала сканирования каждый пиксель заполняется электронами пропорционально количеству попавшего в него света. По окончании времени экспозиции электрические заряды, накопленные каждым пикселем, по очереди считываются и преобразуются в цифровой код.

ПЗС-матрицы состоят из субпикселей с красным, зеленым и синим светофильтрами, в результате чего каждый из них фиксирует лишь сигналы определенной длины волны. Количество таких светочувствительных площадок обычно составляет несколько миллионов (мегапиксельные камеры), чем определяется разрешающая способность камеры.

Применяемая в телевизионной и цифровой оптической аппаратуре, в том числе в полихромных фотометрических сепараторах, цветовая система RGB (рис. 2) выражает качественные характеристики светового

потока. В RGB-системе цвета смешиваются аддитивно. Белый цвет получается при равном смешении всех трех основных цветов. Черный цвет получается при отсутствии света.

Таблица 1

Гранулометрическая характеристика пробы после дробления до крупности -100 мкм

| Классы крупности, мм | Выход, % | Компоненты | | | | | | | |
|----------------------|----------|---------------|------------------|-------|------|------------------|------------------|-------|-------|
| | | Содержание, % | | | | Распределение, % | | | |
| | | Mn | SiO ₂ | P | Fe | Mn | SiO ₂ | P | Fe |
| -100+30 | 68,91 | 19,76 | 11,38 | 0,085 | 2,57 | 67,58 | 66,88 | 67,00 | 68,93 |
| -30+10 | 17,53 | 21,19 | 12,53 | 0,096 | 2,65 | 18,42 | 18,72 | 19,19 | 18,29 |
| -10+0 в.т.ч.-10+6 | 13,56 | 20,78 | 12,46 | 0,089 | 2,29 | 14,00 | 14,40 | 13,81 | 12,78 |
| | 4,84 | 24,75 | 11,00 | 0,097 | 2,77 | 5,98 | 4,54 | 5,39 | 5,53 |
| Исходная проба | 100,0 | 20,15 | 11,73 | 0,087 | 2,54 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

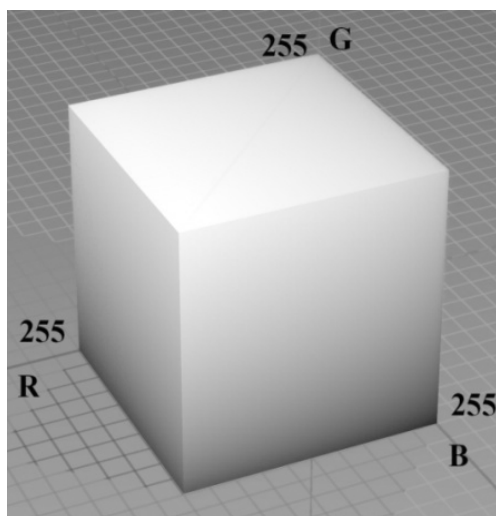


Рис. 2. Система цветности RGB

потока с помощью трех длин волн: красной (R — red), зеленой (G — green) и синей (B — blue). Цветовые характеристики каждой точки (пикселя) в данной системе определяются координатами по трем осям (каналам) R , G и B . Значения по каждой из осей находятся в пределах от 0 до 255, поскольку цветовые характеристики каждого пикселя описываются восемью битами (2^8), что в итоге дает 256 значений градаций цвета. Учитывая, что используется 3 канала, общее количество цветовых оттенков составляет 16.777.216. Начало координат соответствует черному цвету, а в противоположной точке начала координат — белому, оттенки серого — одинаковым значениям RGB, цвета с преобладанием красного цвета $R > B$, $R > G$, и т.д.

Метод полихромной фотометрической сепарации основан на разделении кускового материала по его цветовым характеристикам.

На цветовые характеристики минерала или горной породы, фиксируемые светоприемником, влияют множество факторов. С одной сторо-

ны это окраска минерала и его отражательная способность, с другой — яркость, углы падения и спектральный состав облучающего потока света. Для использования цветовых характеристик при обогащении методом ПФМС важно выделять типичную связанную с оруденением цветовую характеристику.

Работы, результаты которых приведены в данной статье проводились на полихромном фотометрическом сепараторе Optosort Gemstar-300, перерабатывающем класс крупности - 20+5 мм.

Изучение обогатимости карбонатных марганцевых руд Усинского месторождения методом ПФМС

Месторождение является одним из самых крупных в РФ по запасам месторождений высококачественных карбонатных марганцевых руд. Относится к пластово-линзовидному карбонатному в вулканогенно-осадочных породах геолого-промышленному типу. В пределах месторождения развиты манганокальцит-родохрозитовый, родохрозитовый, пирролюзит-псиломелановый, псиломелан-вернадитовый минеральные типы руд. Морфология рудных тел — крутопадающие пласты и протяженные линзообразные тела родохрозитовых и манганокальцитовых руд мощностью от первых метров до десятков метров, перемежающиеся пластинами марганцовистых известняков, эффузивных и осадочных пород. Родохрозитовые руды массивной текстуры тонкозернистые, сложены тонкодисперсным агрегатом кальциевого родохрозита. В них постоянно присутствует углистое вещество, пирит и пирротин, определяющие окраску от светло-серой до буровато-темно-серой. Манганокальцитовые руды массивной текстуры, мелкозернистые с прожилками кальцита, участками

Таблица 2

Минеральный состав пробы УС-3 родохрозит-манганокальцитово́й руды

| Минералы | Содержание, % | Окраска |
|------------------------|------------------|--|
| Родохрозит | 30,0 | От светло-серой до буровато-темносерой |
| Манганокальцит | 24,0 | Темно-серая |
| Кальцит марганцовистый | 20,0 | Серая |
| Бементит+фриделит | 5,0 | Серо-желтая |
| Гидрооксиды марганца | 3,0 | Черная |
| Пироксмангит | 2,0 | Черная |
| Пирротин | 2,0 | Тускло-желтая |
| Кварц | 7,0 | Белая |
| Тальк | 1,0 | Зеленовато-белая |

Обогащение методом ПФМС

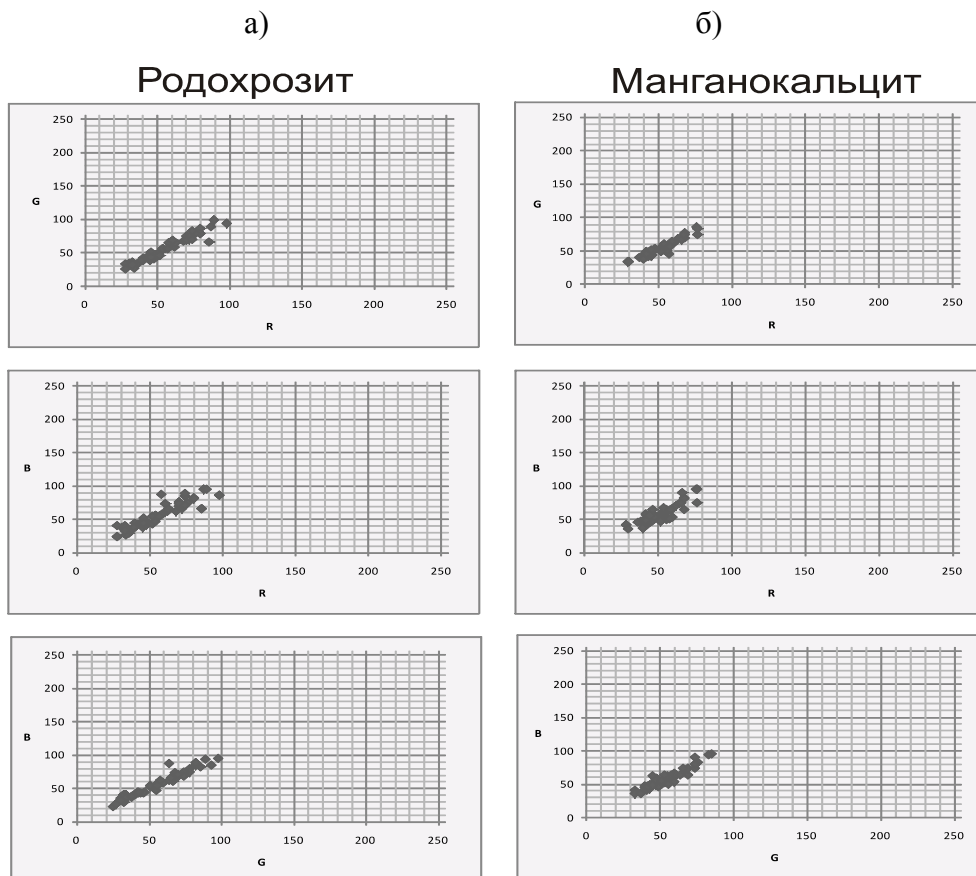


Рис. 3. Плоскости цветовой модели RGB для: а) родохрозита б) манганокальцита



Рис. 4. Оценка площади, занимаемой минералами с цветовой характеристикой родохрозитовой разности в родохрозитовых кусках: а) качественная оценка (белый цвет - с цветовой характеристикой родохрозита, зеленый – с цветовой характеристикой манганокальцита); б) количественная оценка (первая цифра обозначает площадь, занимаемую минералами с цветовой характеристикой родохрозита, третья цифра обозначает площадь, занимаемую минералами с цветовой характеристикой манганокальцита)

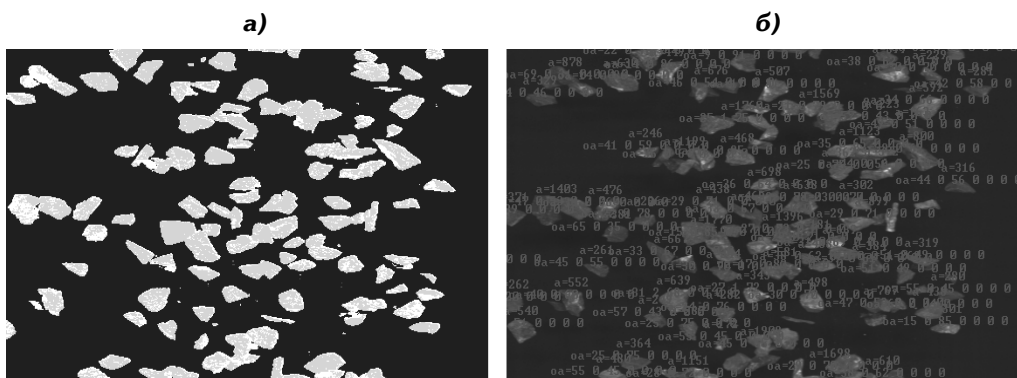


Рис. 5 Оценка площади занимаемой минералами с цветовой характеристикой манганокальцитовой разности в манганокальцитовых кусках: а) качественная оценка (белый цвет - с цветовой характеристикой родохрозита, зеленый – с цветовой характеристикой манганокальцита); б) количественная оценка (первая цифра обозначает площадь, занимаемую минералами с цветовой характеристикой родохрозита, третья цифра обозначает площадь, занимаемую минералами с цветовой характеристикой манганокальцита)

марганцовистого кальцита, линзами кремней. Цвет — темно-серый.

Руды подвергались воздействию процессов окисления с образованием черных окисидных минералов пиролюзита и псиломелана в виде пленок, корок по поверхностям трещиноватости и кливажа.

Характеристика манганокальцит-родохрозитовой пробы

Проба отобрана из разведочных канав бороздовым способом. Гранулометрический состав пробы после дробления до крупности -100 мкм приведен в табл. 1. Для изучения особенностей обогатимости методом

Таблица 3

Результаты ПФМС в сравнении с результатами РРС

| Класс крупности, мм | Метод | Продукт | Выход, % | Содержание Мп, % | Извлечение Мп, % | Коб |
|---------------------|-------|----------------|----------|------------------|------------------|------|
| -100+20 | РРС | Концентрат | 30,93 | 35,8 | 55,16 | 1,79 |
| | | Хвосты | 69,07 | 13,0 | 44,84 | |
| | | Исходный класс | 100,0 | 20,1 | 100,0 | |
| -10+6 | ПФМС | Концентрат | 47,17 | 37,6 | 68,44 | 1,45 |
| | | Хвосты | 52,83 | 15,5 | 31,56 | |
| | | Исходный класс | 100,0 | 25,9 | 100,0 | |



родохрозитовый



манганокальцитовый

Рис. 6. Продукты ПФМС карбонатной руды Усинского месторождения, класс крупности -10+6 мм

ПФМС использовался класс -10+6 мм, отвечающий согласно табл. 1 среднему вещественному составу пробы.

Минеральный состав пробы с цветовыми характеристиками основных минералов приводится в табл. 2.

Машинный класс -10+6 мм обогащался полихромным фотометрическим методом на сепараторе GemStar-300.

При настройке ПФМС исследовалась возможность использования прямого признака — цветовых характеристик родохрозитовых и манганокальцитовых разностей. Для каждой

разности на сепараторе в ручном режиме были сделаны фотографии. Для того чтобы определить данные характеристики, были построены плоскости цветовой модели в координатах RGB в виде 3 точечных графиков для каждой разности, рис. 3:

- ось абсцисс R, ось ординат G
- ось абсцисс R, ось ординат B
- ось абсцисс G, ось ординат B

Как видно из графиков, различие в цветовых характеристиках родохрозитовой и манганокальцитовой разностей довольно слабое, тем не менее для родохрозитовой разности значе-

Таблица 4

Гранулометрическая характеристика пробы после дробления до крупности -100 мм

| Классы крупности, мм | Выход, % | Содержание Cr ₂ O ₃ , % | Распределение, % |
|----------------------|----------|---|------------------|
| -100+50 | 49,72 | 20,8 | 51,70 |
| -50+30 | 16,08 | 19,7 | 15,70 |
| -30+20 | 11,19 | 19,2 | 10,74 |
| -20+10 | 6,00 | 18,7 | 5,58 |
| -10+4 | 7,67 | 18,8 | 7,20 |
| -4+0 | 9,34 | 19,5 | 9,08 |
| Исходная проба | 100,0 | 20,1 | 100,0 |

Таблица 5

Минеральный состав пробы хромитовой руды класса крупности -10+4 мм

| Минералы | Содержание, % | Окраска минерала |
|-----------------|---------------|----------------------------|
| Хромшпинелид | 53,5 | Черная |
| Серпентин | 17,7 | От светло до темно-зеленой |
| Хлорит | 14,1 | Серая до светло-розовой |
| Пироксен | 4,0 | Черная, темно-зеленая |
| Роговая обманка | 2,3 | Черная |
| Тальк | 1,7 | Зеленовато-белая |
| Плагиоклаз | 1,6 | Светло-серая |
| Кальцит | 1,9 | Белая |
| Доломит | 1,1 | Зеленовато-белая |
| Диопсид | 0,5 | Черная |
| Гидрослюды | 1,4 | Серо-зеленая |
| Магнетит | 0,2 | Черная |

ния для канала красного цвета (R) незначительно выше.

По этим данным в программе настройки сепаратора были созданы цветовые гистограммы для родохрозитовых (канал R в интервале 60—100) и манганокальцитовых (канал R в интервале 0—59) разностей.

- а) родохрозита,
- б) манганокальцита.

Далее в программе настройки сепаратора на тех же фотографиях была проведена оценка площади, занимаемой минералами с цветовой характеристикой родохрозитовой разности в родохрозитовых кусках (рис. 4) и манганокальцитовой разности в манганокальцитовых кусках (рис. 5).

После анализа фотографий были приняты границы, обусловленные тем, что в родохрозитовых кусках по

оценке сепаратора > 55 % площади отвечает цветностной характеристике родохрозита, а в манганокальцитовых кусках > 25% площади отвечает цветностной характеристике манганокальцита. Сепарация проводилась в сухом виде в одну стадию.

Продукты ПФМС, представленные на рис. 6, однородны по цвету и представляют минимальное различие по оттенкам темно-серого, которое реализуется программой разделения сепаратора.

Результаты ПФМС в сравнении с данными рентгенорадиометрической сепарации (РРС) классов крупности -100+20 мм представлены табл. 3.

Кусковой материал класса крупности -10+6 мм раскрыт полностью и обогащен по сравнению с материалом

крупных классов (табл. 3). Соответственно, содержание в продуктах ПФМС выше, чем в продуктах РРС. При большем в 1,5 раза выходе концентрата ПФМС возросло извлечение Mn. Качество концентрата 37,6% Mn удовлетворяет требованиям к кондиционным концентратам карбонатных руд. Однако по уровню содержания Mn в хвостах и степени обогащения концентрата процесс ПФМС уступает РРС, поскольку последний является прямым методом разделения, измеряемый параметр которого непосредственно связан с содержанием полезного компонента.

Таким образом, на пробе карбонатной марганцевой руды Усинского месторождения показана принципиальная возможность получения методом ПФМС высококачественного кондиционного кускового концентрата для карбонатных руд.

Изучение возможности обогащения хромитовых руд Сарановского месторождения методом ПФМС

Главное Сарановское месторождение хромитов представляет собой линзообразное тело, имеющее крутое восточное падение, размерами 2000 х 500 м. Массив сложен апогипербазитовыми серпентинитами, хромитовыми рудами, габброидами и секущими их

дайками диабазов, пикритов и габбро-диабазов.

Вмещающие породы представлены серпентинитами по гипербазитам и пегматитам с маломощными прослоями хромитов. К хромитам условно отнесены породы, содержащие более 25% хромшпинелидов. Все первичные силикатные минералы в них замещены серпентинитом и хлоритом.

Среди хромитовых руд выделены хромит-пироксен-оливиновые, оливинхромитовые, серпентин-хлорит-хромитовые и пироксен-хромитовые породы и практически мономинеральные хромиты. контрастности $M = 0,83$ относит руду к разр

Характеристика пробы

В пробу отобрана бедная руда после крупного дробления -100 мм. Гранулометрический состав представлен табл. 4.

Текстура руды массивная. Структура мелко- и среднезернистая. Текстура вмещающих пород также массивная при тонкозернистой структуре.

Минеральный состав пробы приводится в табл. 5.

Для исследований методом ПФМС был выделен класс -10+4 мм. Контрольные показатели получены при изучении класса -50+30 мм на аппаратуре признака разделения РРС в статическом режиме. Показатель яду среднеконтрастных. **ТАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Рябкин В.К., Чепрасов И.В., Тихвинский А.В. – Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС»).

