

УДК 549.08:553

Н.А. Анашкина, Л.А. Азарнова

**ПРИКЛАДНЫЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ РУД ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Семинар № 25

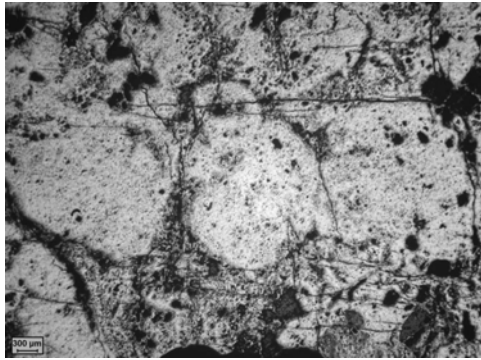
Одной из главных проблем современного недропользования является ухудшение воспроизводства минерально-сырьевой базы металлургических видов сырья, в том числе и черных металлов. Промышленное освоение отечественных месторождений марганцевых и хромовых руд нередко связано с неблагоприятными для добычи географо-экономическими и горно-техническими условиями. В то же время, вовлекаемые в переработку руды являются комплексными и некондиционными по главным компонентам. Поэтому перспективы развития минерально-сырьевой базы черных металлов, в первую очередь, следует связывать с созданием конкурентноспособных малоотходных технологий, позволяющих извлекать все полезные компоненты руд.

Большинство руд черных металлов, изучаемых сегодня во Всероссийском институте минерального сырья в рамках геолого-экономической переоценки резервных месторождений, относится к категории низкокачественных и труднообогатимых. Исследование таких руд представляет собой трудную для минералога задачу. Это связано с их полиминеральным составом и сложным строением, присутствием в них минералов, как непрерывных, так и дискретных изо-

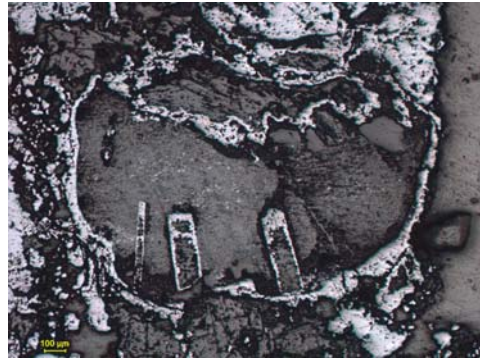
морфных рядов, нередко высокой дисперсностью рудных минералов, различными формами присутствия вредных примесей и т. д.

Для определения технологических свойств руд и выбора оптимальной схемы их переработки, необходима полная и всесторонняя информация о составе и морфоструктурных особенностях руды, физических и физико-химических свойствах как рудообразующих минералов, так и руды в целом. Поставленная задача успешно решается с помощью комплекса современных минералого-аналитических методов, который включает высокоразрешающую оптическую и электронную микроскопию, рентгенографический, микрорентгеноспектральный, микрорентгеномографический, магнитометрический и элементный анализы.

Технологическая оценка хромовых и марганцевых руд, проведенная комплексом методов минералогического анализа, позволила получить информацию, необходимую для прогнозирования технологий их переработки. В качестве примера рассмотрим особенности вещественного состава и строения оксидных марганце-



а



б

Рис. 1. а) браунит скрытокристаллического строения, б) замещение браунитом обломка породы. Отраженный свет, николи параллельны

вых руд Аскизского месторождения (республика Хакасия), выявленные комплексом методов технологической минералогии. Руды месторождения характеризуются переменным минеральным составом. Содержание Mn в них варьирует от 6,8 до 41,3 %.

Текстура оксидных марганцевых руд массивная, реже пятнистая, участками – тонко-прожилковая. Пятнистая текстура обусловлена присутствием в руде обломков пород и минералов. Наложенная прожилковая текстура связана с наличием разно-ориентированных, нередко прерывистых, в основном мало-мощных (0,012-0,34 мм) прожилков, vyplненных кальцитом. Структура руды – преимущественно скрытокристаллическая, реже тонкокристаллическая.

Главным рудным минералом является браунит, в подчиненном количестве присутствуют гаусманит, рансьеит, пиролюзит, гематит и гидроксиды железа. Породообразующие минералы пред-

ставлены кальцитом, баритом и плагио-оклазом, акцессорные – апатитом.

Браунит представлен двумя генерациями, различающимися составом, строением и физическими свойствами. Браунит I генерации скрытокристаллического строения слагает практически мономинеральные рудные агрегаты, прожилки в измененных магматических породах, иногда образует округлые выделения, в которых в незначительном количестве присутствуют включения породообразующих минералов (рис. 1, а). Помимо этого, отмечается замещение браунитом, как зерен минералов, преимущественно плагиоклаза, так и обломков пород, в результате чего образуются вторичные структуры замещения: фонарные, каемчатые, ажурные (рис. 1, б). Браунит II генерации тонкокристаллического строения присутствует в резко подчиненном количестве, образуя агрегаты в основном в ослаб-

Таблица 1

Химический состав браунита

(по данным микрорентгеноспектрального анализа)

Браунит	Mn	MnO	CuO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	P ₂ O ₅	BaO
I разновидности	55,81	75,99	1,25	10,45	0,95	2,16	1,46	1,32	-	0,35
II разновидности	43,61	56,31	0,57	10,22	3,96	1,55	3,34	3	-	3,48

Таблица 2
Особенности браунита

Генерация	Морфология выделений	Структура	Габитус	Плотность, г/см ³	Микротвердость, кгс/мм ²	Отражение, %	Содержание, %			Удельная магнитная восприимчивость, $\cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$
							Mn	Fe	Si	
I	Сплошные массы, гнезда, прожилки, каемки	Скрыто-кристаллическая	Скрыто-кристаллический, колломоρφный	4,27 - 4,50	797 - 829	19,2 - 20,1	54,2 - 59,9	0,5-1,9	3,9-6,2	118 - 142
II	Гнезда, прожилки, каемки	Мелко-тонко-кристаллическая	Псевдооктаэдрический, пиромидальный	н.о.	534 - 569	18,8 - 19,7	39,8 - 49,5	2,1-2,6	3,2-6,4	

ленных зонах руды (интерстиции между крупными зернами кальцита, стенки пустот, трещины). Агрегаты сформированы кристаллами призматической и октаэдроподобной формы размером менее 0,01 мм.

Содержание главных рудных компонентов в брауните, по данным микрорентгеноспектральным анализа, приведено в табл. 1.

Алюминий, кальций, железо и барий присутствуют в брауните в виде самостоятельных минеральных фаз, а кремнезем изоморфно входит в структуру минерала. Также в брауните обнаружена медь (порядка 1,25 % в брауните I генерации и 0,57 % в брауните II генерации), которая равномерно распределена по матрице минерала, и, вероятно, изоморфно входит в его структуру.

Браунит I генерации имеет более высокую микротвердость, плотность и удельную магнитную восприимчивость по сравнению с более поздним браунитом II генерации (см. табл. 2).

Более низкие значения физических свойств браунита II обусловлены, прежде всего, более низким содержанием в нем марганца. При этом следует отметить, что определить плотность и удельную магнитную восприимчивость минерала не представляется возможным из-за невозможности выделения монофракции.

Резкое преобладание браунита I по отношению к брауниту II, установленное минераграфическим методом, определяет технологические свойства руды и качество получаемых концентратов.

Взаимоотношение главного рудного минерала с породообразующими фазами в значительной степени определяет степень его раскрытия. Браунит находится в тесной ассоциации с баритом, корродируя его кристаллы и выполняя трещины и пустоты в его агрегатах. Оптико-

Таблица 3
 Результаты расчетов образца браунитовой руды на системе
 анализа изображений "Leica QWin Standart"

Минерал	Содержание, %	Удлинение	Размерность, мкм			Фактор формы
			мин.	сред.	макс.	
Барит	12,78	1,88	8	165	2221	0,56

геометрическим анализом установлено, что размер зерен барита варьирует в широком диапазоне, их удлинение выше среднего (табл. 3.), что обусловлено кристалломорфологическими особенностями. Фактор формы зерен барита свидетельствует о достаточно прочном срастании барита и браунита и невозможности их полного селективного разделения.

Оксидные марганцевые руды, как правило, являются комплексными рудами, поэтому с целью определения в них форм нахождения цветных и благородных металлов использовались методы аналитической электронной микроскопии, позволившие выявить минеральные формы золота и меди. Установлено, что золото присутствует в брауните в самородной форме, представлено чешуйками и дендритовидными кристаллами. Особый интерес представляет реликты бак-

терий, импрегнированные самородным золотом (рис. 2). Медь присутствует в самородной и оксидной форме (тенорит). Самородная медь представлена тонкодисперсным агрегатом. Тенорит образует включения в брауните в виде хорошо ограниченных кристаллов (рис. 3).

Минералогические особенности изученных руд позволяют говорить о возможности их обогащения комплексом рентгенометрических, физических и химико-металлургических методов.

Применение экспрессных минералогических методов эффективно при проведении прогнозной оценки технологических свойств хромовых руд.

Хромовые руды традиционно обогащаются по гравитационно-магнитной технологической схеме обогащения. Успешность процесса гравитационной сепарации во многом зависит от гранулярных

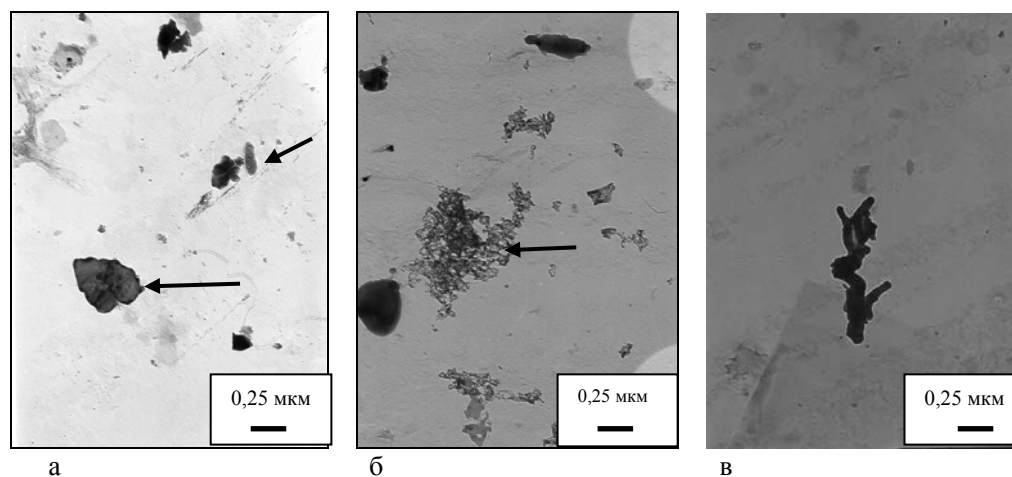


Рис. 2. а) Частица самородного золота (показана большой стрелкой), бактерия, импрегнированная самородным золотом (показана маленькой стрелкой); б) агрегат ветвистых кристаллов самородного золота; в) ветвистый кристалл самородного золота. Суспензионный препарат

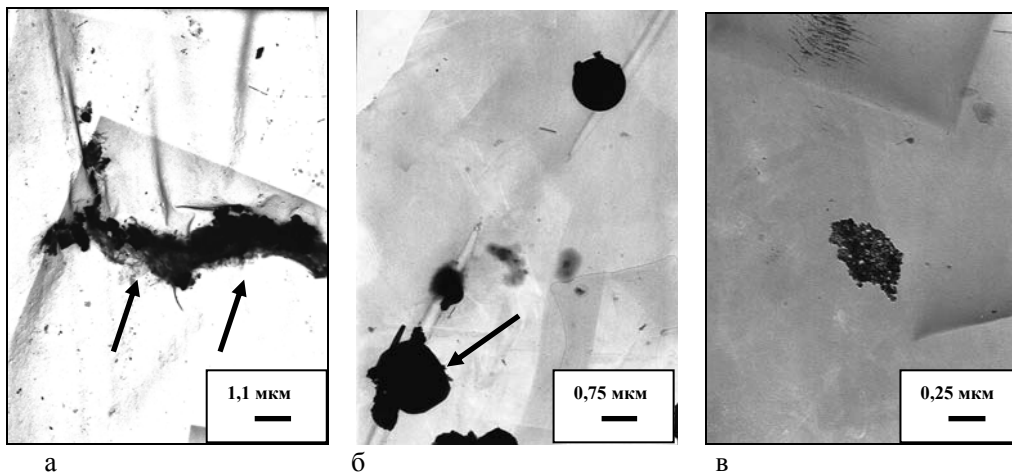


Рис. 3. а) Агрегат тонкодисперсных частиц самородной меди. Здесь же присутствуют кристаллики апатита; б) хорошо ограниченный кристалл тенорита, на котором микрофракционно отмечается тонкодисперсный тенорит и самородное золото; в) агрегат частиц самородного золота и тенорита. Суспензионный препарат

и морфометрических характеристик рудообразующих минералов, наряду с такими их физическими свойствами как плотность и микротвердость. Такие характеристики, статистически представительные, могут быть экспрессно получены с помощью количественного автоматического анализа изображения опико-геометрическим методом. Наиболее перспективной аппаратурой для проведения такого анализа являются автоматические анализаторы изображений.

В ВИМСе изучены морфометрические и гранулярные характеристики рудообразующего хромшпинелида средне- и густовкрапленных, а также сплошных хромовых руд одного из наиболее перспективных рудопроявлений Войкаро-Сыньинского массива Полярного Урала на системе анализа изображений Tomanalysis.

Рассмотрим результаты, полученные при исследовании средневкрапленных руд, как наиболее характерных для изученного рудопроявления.

Гранулометрические характеристики рудообразующего хромшпинелида

средневкрапленной руды в графическом виде показаны на рис. 4.

Гистограмма количественного гранулометрического состава хромшпинелида наглядно показывает разнотельную от крупно- до мелкозернистой структуру средневкрапленной руды с преобладанием мелкозернистой (в классе крупности $-1+0$ мм сосредоточено 80 % кристаллов хромшпинелида). Длина самого крупного зерна хромшпинелида достигает 3,45 мм, минимальная длина составляет 0,022 мм, при средней длине зерен 0,505 мм. Интерпретация значений длины зерен также указывает на разнотельную от крупно- до мелкозернистой структуру руды и показывает, что раскрытие рудного минерала будет начинаться при крупности измельчения руды $-3,5$ мм.

Гистограмма массового гранулометрического состава хромшпинелида средневкрапленной руды свидетельствует о том, что при измельчении руды в мелкий класс (-1 мм) будет уходить около 24 мас. % рудного минерала.

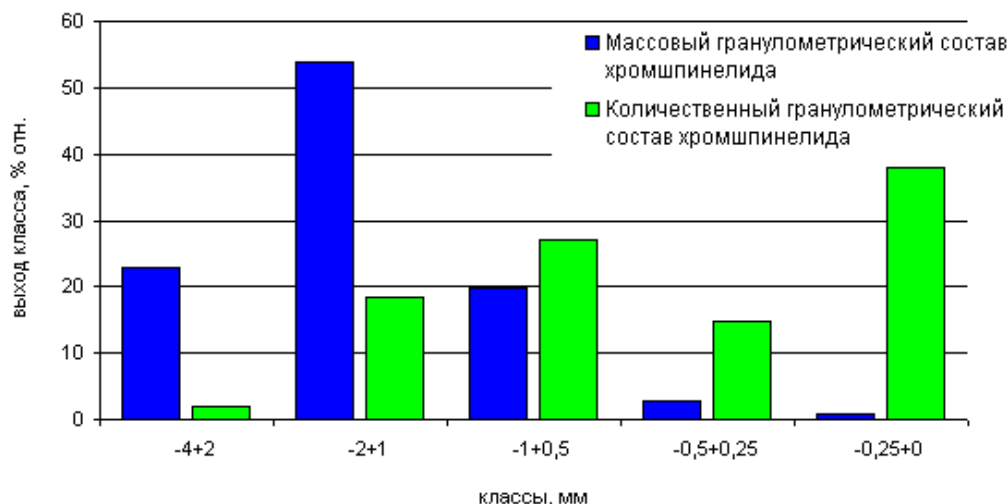


Рис. 4. Гистограмма распределения хромшпинелида по классам крупности

Интерпретация значений удлинения (1,79) и фактора формы (0,9) зерен хромшпинелида характеризует их как субизометричные с гладкими ровными границами. Сrostки таких зерен с нерудными фазами хорошо раскрываются при измельчении руды.

Рентгеноструктурным анализом монофракции рудообразующего хромшпинелида определен параметр его элементарной ячейки, позволивший оценить содержание Cr_2O_3 в минерале на уровне 50-60 %. Зная содержание ценного компонента в рудообразующем минерале и предположительные потери и извлечение рудного минерала в гравитационный концентрат в зависимости от крупности измельчения руды, легко оценить теоретически возможное извле-

чение ценного компонента в гравитационный концентрат. Теоретическое же извлечение рудного минерала в концентрат прогнозируется, как показано выше, на основании результатов количественного автоматического анализа изображения оптико-геометрическим методом.

Таким образом, комплексирование минералогических методов позволяет оценить уже на ранних стадиях геологического изучения месторождений хромовых руд качество руды и рекомендовать наиболее эффективные методы ее обогащения.

Авторы выражают благодарность д.г.-м.н. Ожогойной Е. Г. за помощь при проведении исследований. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Анашкина Н.А., Азарнова Л.А. – Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 25 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. А.А. Абрамов.