

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

*Показаны проблемы, затрудняющие проведение прикладных минералогических исследований твердых полезных ископаемых. Объективной проблемой являются природные особенности современных руд: полиминеральный состав, переменный гранулярный состав, нередко высокая дисперсность, сложные морфометрические характеристики минералов. Субъективные проблемы связаны с техническими и экономическими факторами, метрологическим, методическим и кадровым обеспечением минералогических работ. **Ключевые слова:** полезные ископаемые, руда, комплекс методов минералогического анализа, достоверность результатов, методический документ, стандартный образец фазового состава и свойств минералов, межлабораторные сравнительные испытания.*

Ozhogina E.G. (VIMS)

MODERN PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL MINERALOGY

*Showing difficulties in conducting applied mineralogy research of solid minerals. Objective problem are natural features of modern polymineral ores: composition, alternating granular composition, often high dispersion, complex morphometrics minerals. Subjective problems associated with technical and economic factors, metrological, methodical and personnel providing mineralogical works. **Keywords:** minerals, ore, complex methods of mineralogical analysis, credible results, methodical document standard sample phase composition and properties of minerals, interlaboratory comparative tests.*

Проблема дефицита минерального сырья, необходимого сегодня для удовлетворения потребностей отечественной промышленности стоит достаточно остро. Перспективы развития минерально-сырьевой базы значительной части полезных ископаемых, в большинстве случаев представленных комплексными полиминеральными рудами со сложным текстурно-структурным рисунком, определяются технологиями их добычи и переработки, базирующимися в первую очередь на данных о составе и строении непосредственно руд и вмещающих пород. Это в значительной степени усиливает позиции технологической минералогии в комплексе исследований, сопровождающих геологоразведочные работы в целом. Основная цель технологической минералогии — это создание научных и методических предпосылок решения проблемы рационального освоения минерального сырья, максимально возможного извлечения и комплексного использования всех минералов горных пород и руд, расширение и укрепление минерально-сырьевой базы России.

Природные особенности современных руд черных, легирующих, цветных, редких, радиоактивных и благородных металлов, в большинстве своем отличающихся многообразием минеральных типов, комплексностью, сложностью состава и строения, затрудняют их изучение и влияют на качество минералогической информации, необходимой для оценки промышленной значимости объекта и тактике его освоения. Поэтому для получения достоверной информации о полезных ископаемых необходимо использовать методически обоснованный комплекс методов минералогического анализа, который определяется не только задачами проводимых работ, но и в первую очередь непосредственно объектом исследования. Например, для редкометалльного, в том числе редкоземельного сырья обычно требуется применение расширенного комплекса методов минералогического анализа, включающего не только традиционные методы оптической микроскопии и рентгенографии, но и методы электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.

В качестве примера рассмотрим уникальные редкометалльные руды Томторского месторождения (Полярная Якутия), связанные с переотложенными (эпигенетически измененными) корами выветривания карбонатов. Изученные пироклор-монацит-крандаллитовые руды характеризуются переменным гранулярным составом, нередко высокой дисперсностью, тесным взаимным сростанием минеральных фаз и связью одного и того же полезного компонента с несколькими рудными и порообразующими минералами, наличием нескольких разновидностей одноименных минералов (пироклора, монацита, минералов группы крандаллита), различающихся физическими свойствами. Руды отличаются достаточно сложным химическим составом и содержат широкий спектр полезных компонентов, главными из которых являются Nb_2O_5 , REE_2O_3 , Y_2O_3 .

Для изучения столь сложных полиминеральных руд требуется применение комплекса минералого-аналитических методов изучения, включающего оптическую микроскопию, рентгенографический, рентгено-томографический, электронно-микроскопический и микрорентгеноспектральный анализы, которые в совокупности позволяют получить детальную и максимально полную информацию о их составе и строении, необходимую, в частности, для решения технологических задач [1, 2].

Наибольшим распространением пользуются слоистые, волнисто-слоистые, микрослоистые, брекчиевые, реже встречаются массивные руды (рис. 1). Структура руд разнозернистая от мелко — до микрозернистой. В прозрачных шлифах отмечаются участки руды с метаколлоидной структурой. Сложный характер сростаний и тонкодисперсное строение минеральных фаз, количество которых может достигать восемнадцати, четко фиксируется рентгено-томографическим методом.

Главные полезные минералы руды — это минералы группы крандаллита, содержание которых варьирует от

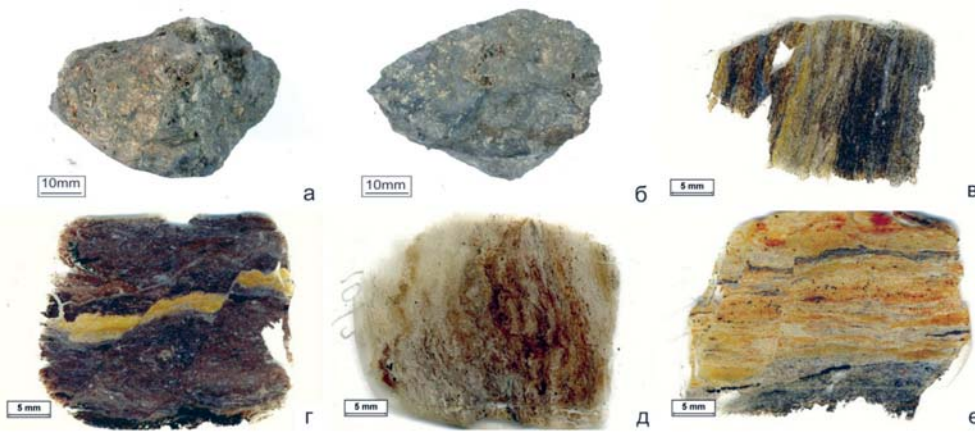


Рис. 1. Тектурный рисунок руды: а — массивный; б — брекчиевый; в-е — слоистый

5 до 70 % и монацит (4–14 %), в подчиненном количестве встречается пирохлор (не более 2 %), редко его содержание достигает 12 %. В ассоциации с минералами группы крандаллита практически всегда отмечается каолинит (5–60 %), значительно реже иллит и хлорит. Присутствуют сидерит, кальцит, гетит, рутил, анатаз, ильменорутит, апатит, пирит, марказит, галенит, сфалерит, редко — кварц и калиевый полевой шпат.

Исследование главных полезных минералов методами оптической микроскопии не всегда эффективно, идентифицировать конкретные минеральные виды, выявить особенности их реального состава и строения в большинстве случаев удается только прецизионными методами. Так, минералы группы крандаллита формируют в основном массивные и коллоидные тонкодисперсные полиминеральные агрегаты, в которых всегда присутствует каолинит, в переменном количестве встречаются пирохлор, монацит и гидроксиды железа. По данным рентгенографического анализа минералы группы крандаллита представлены горсейкситом и промежуточным членом изоморфного ряда гойяцит-флоренситом, отличающимися смешанным составом. Электронно-микроскопическим анализом установлено, что происходит явная перекристаллизация скрытокристаллического крандаллита с образованием индивидуализированных зерен псевдокубической, призматической, пластинчатой формы (рис. 2).

Монацит, представленный цериевой разновидностью, образует прожилковидные, линзовидные, пятнистые агрегаты в каолинит-крандаллитовом материале. Гипергенные процессы приводят к образованию гидратированной разновидности минерала, представленного агрегатами спутанно-волоконистой, скелетной, реже сферолитовой формы (рис. 3а). В целом такие агрегаты сформированы полыми трубочками с разной толщиной стенок, образующими скопления

преобразованный пирохлор, в котором кальций и натрий замещаются стронцием, барием и свинцом. Изменение состава пирохлора сопровождается дезинтеграцией минеральных зерен с образованием сложного блочного строения (рис. 3б). Трещины между блоками иногда заполняются минералами группы крандаллита, реже апатитом и сульфидами.

Не останавливаясь на особенностях других рудопорообразующих минералов, следует отметить, что

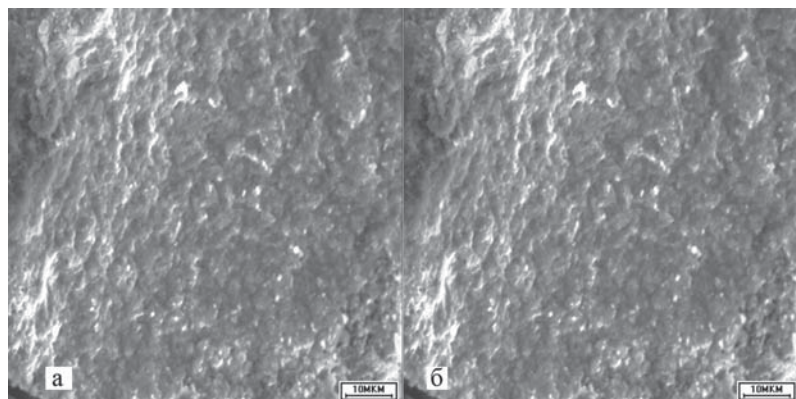


Рис. 2. Колломорфные агрегаты минералов группы крандаллита (а), крандаллитовый агрегат, сформированный кристаллами таблитчатой и псевдокубической формы (б). РЭМ

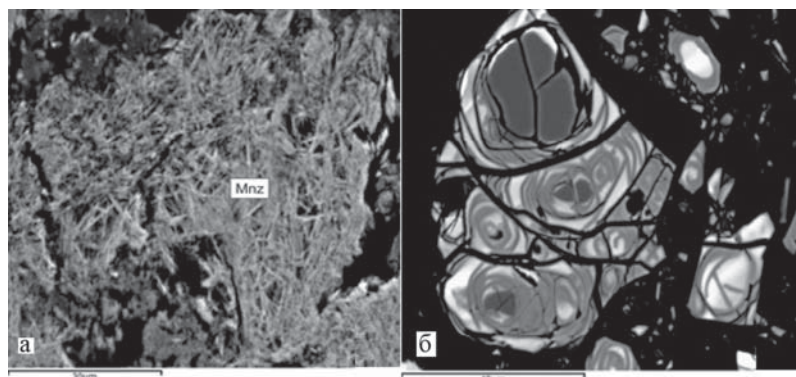


Рис. 3. Спутанно-волоконистые, скелетные и сферолитовые агрегаты монацита (а), дезинтегрированный кристалл пирохлора (б). Изображения в обратном рассеянных электронах

для получения минералогической информации, необходимой для прогнозирования поведения этих руд в технологических процессах, потребовалось применение комплекса минералого-аналитических методов изучения.

Очевидно, что для проведения комплексных минералогических исследований полезных ископаемых, необходимо современное, нередко дорогостоящее оборудование. Приборной базой, позволяющей анализировать сложные объекты, обладают крупные научно-исследовательские институты и производственные организации различной ведомственной принадлежности. Поэтому выполнить максимально полное изучение руд не всегда представляется возможным. В большинстве случаев минералогическое изучение проводится традиционными методами оптической микроскопии, иногда с привлечением рентгенографического анализа. Это определяется тем, что подобные работы выполняют лаборатории различного уровня и ранга, не имеющие в своем арсенале необходимого оборудования и не способные приобрести его даже в перспективе. Следовательно, проблемы минералогического изучения труднообогатимого минерального сырья, связанные с технико-технологическими и экономическими факторами, в настоящее время в полном объеме практически неразрешимы.

Основным элементом обеспечения качества и достоверности проводимых минералогических исследований полезных ископаемых является аккредитация — общепринятая добровольная процедура объективной и квалифицированной оценки (подтверждения) компетентности испытательных лабораторий установленным требованиям. Количество аккредитованных лабораторий, занимающихся минералогическим анализом, незначительно. В большинстве случаев в них заявлены оптико-минералогический, иногда оптико-петрографический анализы и нередко эти лаборатории оснащены отечественными оптическими микроскопами фирмы ЛОМО, выпущенными несколько десятилетий назад. Только в последние годы преимущественно в коммерческих организациях стали использоваться световые микроскопы немецкого и японского производства. Ведущий метод количественного минералогического анализа — рентгенографический количественный фазовый анализ, позволяющий определять массовую долю минералов в рудах, горных породах и продуктах их переработки заявлен в области аккредитации всего в нескольких отраслевых организациях таких, как ФГБУ «ВИМС», ФГУП «ЦНИИгеолнеруд». Поэтому минералогические анализы, выполненные в неаккредитованных лабораториях, не могут быть признаны количественными и, как правило, не могут быть сопоставимы между собой.

Достоверная минералогическая информация об объекте исследования может быть получена только при соблюдении требований системы управления качеством минералогических работ (УКАРМ). Основными элементами метрологического обеспечения УКАРМ являются требования к лабораториям, к каче-

ству подготовки проб; требуемая точность анализов, методика выполнения измерений, стандартные образцы фазового состава и свойств минералов, процедуры и нормы внутреннего и внешнего контроля.

Основой достоверности результатов минералогического анализа является метрологически оцененный метод (или методика), оформленный в виде методического документа по конкретному виду анализа с определением области применения и типа сырья, имеющий юридическую силу. В целом обеспечение минералогических анализов методическими документами удовлетворительное. В работе используется порядка 250 документов Научного совета по методам минералогических исследований (НСОММИ), в том числе три Стандарта отрасли. Однако применяемые методики, особенно разработанные в прошлом веке, не всегда удовлетворяют современному уровню, поэтому серьезное внимание уделяется их актуализации, а также разработке и введению в действие новых методических документов. Так, в прошлом году актуализировано методическое указание «Рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА) с использованием внутреннего стандарта», которое в ближайшем будущем планируется дополнить таблицей нормированных коэффициентов (корундовых чисел) минералов, экспериментально определенных с учетом гранулярного состава порошка. За последние десять лет (2007–2017 гг.) разработано, утверждено и внесены в отраслевой реестр методики анализа, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРП на ТПИ, сорок методических документов НСОММИ, в том числе по оптико-минералогическому, оптико-петрографическому, рентгенографическому, рентгеноспектральному и электронно-микроскопическому анализам. В этом году введена в действие методическая рекомендация по минералогическому изучению руд, разработанная узбекскими коллегами.

Интенсивное развитие и совершенствование физических методов, в первую очередь количественного минералогического анализа, привело к необходимости метрологического обеспечения всех видов измерений. Создание строгой метрологической основы контроля качества минералогических работ обеспечивает достоверность результатов выполняемых анализов. Правильность результатов минералогического анализа горных пород и руд можно оценить с помощью стандартных образцов фазового состава и свойств минералов (СОФС). СОФС представляет собой смоделированную руду или природный материал со строго определенным минеральным составом, аттестованный как по количественному содержанию фаз, так и по значениям параметров свойств минералов, используемых при фазовом анализе [3]. Он предназначен для контроля измерений, поверки, калибровки, градуировки средств измерения, аттестации методик выполнения измерений. Несмотря на острую необходимость стандартных образцов фазового состава и свойств минералов даже наиболее востребованных объектов (руд

золота, цветных металлов и пр.), сегодня не существует реальной возможности их изготовления. Использование в практике лабораторных работ стандартных образцов фазового состава и свойств минералов предприятий не решает проблемы в целом и нередко приводит к недостоверным результатам минералогических анализов. Это связано с тем, что такие стандартные образцы могут быть применены только к конкретному объекту, конкретному методу и в конкретной организации.

В прошлом году была проведена аттестация СОФС корунда (порошок корунда синтетический), используемого в качестве внутреннего стандарта при количественном фазовом анализе полиминеральных материалов. В аттестации приняло участие 11 организаций. В настоящее время отраслевой стандартный образец фазового состава корунда СОФС 51/17, ОСО 176/17 внесен в отраслевой реестр стандартных образцов.

Одной из эффективных форм внешнего контроля являются межлабораторные сравнительные испытания (МСИ), широко используемые в практике аналитических работ, позволяющие оценить достоверность результатов, полученных в каждой отдельной лаборатории, и демонстрирующие наглядное представление о реальной точности методик измерений в целом. Целью проведения межлабораторных сравнительных испытаний является подтверждение технической компетентности испытательных лабораторий путем оценки точности (качества) результатов. Впервые в мировой практике ФГБУ «ВИМС», являющийся провайдером проверок квалификации лабораторий, начал проводить МСИ по минералогическому анализу [2]. В настоящее время успешно проведены межлабораторные сравнительные испытания по рентгенографическому и оптико-петрографическому анализам, в которых приняли участие более двадцати организаций различной ведомственной принадлежности. Рентгенографическим количественным фазовым анализом определялась массовая доля минералов в искусственных смесях, имеющих в составе кварц, кальцит, каолинит, пирит, топаз, флюорит, кварц, гематит. Определяемыми характеристиками МСИ «Магматические горные породы» являлись содержание главных минералов, текстура и структура горной породы.

Сегодня в стране отмечается резкий дефицит квалифицированных кадров. Многие вузы закрыли специальность «минералогия» или сократили выпуск специалистов. Нередко минералогические исследования проводят специалисты смежных специальностей: физики, химики, обогатители, металлурги, почвоведы и др., не имеющие базового образования, что влияет на качество результатов изучения минеральных объектов и, особенно, на их интерпретацию. Известны организации, в которых один минералог проводит весь комплекс исследований, начиная от подготовки проб (изготовление оптических препаратов, классифицирование, фракционирование материала по плотности и магнитным свойствам и т.д.), оптической микроскопии до рентгенографического, а иногда и электронно-

микроскопического анализов. Отсутствие квалифицированных лаборантов-минералогов привело к тому, что практически не осуществляется отбор мономинеральных фракций.

Несмотря на обозначенные проблемы как объективные, обусловленные природными особенностями полезных ископаемых, так и субъективные, прикладные минералогические исследования сегодня полностью ориентированы на комплексное использование минерального сырья. В рамках технологической минералогии основными задачами являются: прогноз качества руды на ранних стадиях геологоразведочных работ и технологических показателей при переделе сырья, интерактивный контроль этих показателей методами минералогического анализа; оценка экологических последствий добычи и переработки полезных ископаемых и прогнозирование мероприятий, устраняющих эти последствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихникевич, Е.Г. Влияние минерального состава пироксид-крандаллитовых руд на технологические показатели их переработки / Е.Г. Лихникевич, Е.Г. Ожогина, Ю.М. Астахова, А.С. Фатов // Золото и технологии. — 2016. — № 4 (34). — С. 68–71.
2. Астахова, Ю.М. Минералогические особенности пироксид-крандаллитовых руд Томторского рудного поля / Ю.М. Астахова, А.А. Быстрова, И.Г. Быстров и др. // Результаты междисциплинарных исследований в технологической минералогии. Сб. статей XI Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск, 2017. — С. 59–61.
3. Ожогин, Д.О. Необходимость и возможность создания стандартных образцов фазового состава и свойств минералов / Д.О. Ожогин, Е.Г. Ожогина // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 1. — С. 57–59.
4. Ожогина, Е.Г. Межлабораторные сравнительные испытания в минералогических работах / Е.Г. Ожогина, М.И. Лебедева, Е.А. Горбатова // Стандартные образцы. — 2017. — Т. 13. — № 2–3. — С. 37–47.

© Ожогина Е.Г., 2018

Ожогина Елена Германовна // vims-ozhogina@mail.ru

УДК 553.81:552.323.6

Зинчук Н.Н. (Западно-Якутский научный центр Академии наук, Республика Саха (Якутия))

ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОИСКОВ И РАЗРАБОТКИ КИМБЕРЛИТОВ

Проведены исследования геолого-технологических особенностей кимберлитов Сибирской платформы, которые следует учитывать при постановке прогнозно-поисковых работ на алмазы в каждом конкретном регионе. В зависимости от геолого-геофизической и геоморфологической обстановки залегания кимберлитовых диатрем определяются особенности их прогнозирования, поисков и дальнейшей технологической отработки. Важным критерием для поисков кимберлитовых тел в различных геолого-тектонических условиях является знание вещественного состава как искомым диатрем, так и вмещающих и перекрывающих их осадочных и магматических образований. Особое внимание при технологической отработке коренных диатрем следует уделять типоморф-