

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра геологии

П.В. ПАНКРАТЬЕВ

ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Методические указания к лабораторному практикуму по минераграфии.

Часть 1

Полевая минераграфия

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования в качестве методического указания для студентов специальности «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых»

Оренбург 2003

ББК 26.34 я 73
П 16
УДК553.04 (075)

Рецензент
доктор химических наук, профессор А.В. Стряпков

П 16 **Панкратьев П.В.**
Лабораторные методы исследования полезных ископаемых:
Методические указания к лабораторному практикуму по
минераграфии. Часть 1 Полевая минераграфия. - Оренбург:
ГОУ ОГУ, 2003.- 30 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторного практикума по дисциплине «Лабораторные методы исследования полезных ископаемых» для студентов специальности 080100.

ББК 26.34 я 73

© Панкратьев П.В., 2003
© ГОУ ОГУ, 2003

Введение

При поисках и разведке рудных месторождений большое значение имеет всестороннее изучение вещественного состава руд. Это необходимо для точной диагностики форм нахождения полезных и вредных компонентов, что очень важно при расчете формул минерала по данным химического анализа, выявлении парагенетических ассоциаций рудообразующих минералов, изучении структур и текстур руд, на результатах которых базируется представление о процессах рудообразования. Изучение рудообразующих минералов, их сростков и свободных зерен в рудах, промпродуктах, концентратах и хвостах имеет большое значение для разработок технологических схем обогащения руд.

Всеми этими вопросами занимается наука минераграфия, в основе которой лежит исследование руд в отраженном свете. Развитие ее связано с металлографией, которая используется при изучении минеральных образований.

В настоящее время сколь-нибудь детальное исследование руд немыслимо без применения методов минераграфии. При наличии современных аналитических приборов таких, как электронно-зондовый микроанализатор, рентгенофлуоресцентный спектрометр, рентгеновские дифрактометры, значительно расширяются возможности при изучении микрообъектов для более точной их диагностики и решения вопросов генезиса руд. Использование таких приборов позволяет более точно определять минеральный состав и формы нахождения ценных компонентов руд, промпродуктов и отходов горно-рудного производства. Только на основе получаемой таким образом комплексной информации возможна разработка высокоэффективных технологий извлечения полезных компонентов и решения вопросов генезиса руд. К сожалению, не все лаборатории оснащены высокоточной аппаратурой, в результате чего огромный полевой материал по рудным объектам остается и не может быть оперативно проанализирован. Поэтому предлагаемые в данном методическом указании подходы к минераграфическому изучению руд представляют собой тот минимум исследований, который может быть реализован в полевых условиях.

Существует обширная литература по методике исследования руд в отраженном свете. Особенно широко при микроскопическом изучении руд используются работы А.Б. Баталова (1953) /2/, С.А. Вахрамеев (1956) /3/, С.А. Юшко (1971) /9/, Е.Л. Афанасьевой и М.П. Исаенко (1978) /1/, Справочник ... (1988) /8/. Из зарубежных исследований широкое распространение как справочное руководство по рудной микроскопии получила книга Л. Рамдора (1962) и Ю.И. Камерона (1966).

Данная методическая разработка составлена, с целью помочь студентам в освоении основ полевой минераграфии. Разумеется, она не претендует на исчерпывающую полноту и, тем более, на замену какого-либо

учебного пособия. Надеемся, что лица, начинающие заниматься изучением вещественного состава руд найдут в этой работе краткие сведения по основным приемам полевых исследований в этом направлении.

1 Задачи минераграфических исследований

Одной из главных задач минераграфических исследований является всестороннее изучение вещественного состава руд промышленных месторождений. Правда, изучение вещественного состава руд практически осуществляется также путем систематического опробования рудных тел, с последующим анализом полученных при этом проб методами химического и спектрального и т.п. анализов. Однако опробование позволяет разрешить, в основном, только одну часть важнейших в практическом отношении задач, связанных с изучением вещественного состава руд, а именно, какие элементы (или окислы) входят в состав руд и каковы количественные их соотношения. Для целей же промышленного освоения рудных месторождений знание химического состава руд совершенно необходимо, но не достаточно. Требуется знание типов природных химических соединений, форм нахождения полезных и вредных элементов руд и др. В частности, для целей выбора рационального метода обогащения руд необходимо знать минеральный их состав, размеры зерен и количественные соотношения слагающих руду минералов, а также структурно-текстурные особенности руд.

Необходимость в детальном минераграфическом исследовании возникает также в связи с выяснением генезиса месторождения. Невозможность разрешения этого вопроса (особенно в конкретных деталях) без тщательного изучения самих руд, в настоящее время не вызывает сомнений.

Задачи минераграфических исследований в целом находятся в тесной связи и переплетаются с другими задачами познания геологии рудных месторождений. Поэтому одним из необходимых условий правильного решения этих задач является рассмотрение их как единого целого, т.е. проведение взаимно увязанных комплексных работ.

Основные задачи минераграфических исследований на отдельных месторождениях сводятся к следующим:

- определение и описание полного комплекса минералов и их разновидностей, входящих в состав руд (главных и второстепенных, рудных и нерудных, гипогенных и гипергенных и т.д.);

- изучение распространения отдельных минералов (частоты встречаемости), а также количественное соотношение их в рудах;

- характеристика отдельных типов и сортов руд в отношении количественного минерального их состава, размеров зерен, текстур и структур;

- изучение вопросов метаморфизма руд; изучение характера пространственного распределения отдельных типов руд, изменение состава руд с глубиной, а также по мощности и простиранию рудных тел;

- выявление закономерностей парагенезиса возрастных соотношений рудообразующих минералов и их парагенетических ассоциаций;

-проведение детальных исследований наиболее важных (в практическом и теоретическом отношении) минералов - в частности с применением методов химического, спектрального, термического, микрозондового и др.;

-обобщение данных минераграфических исследований и, как следствие этого, уточнение отдельных вопросов генезиса месторождений;

-составление полноценного минераграфического очерка месторождения, который должен являться одним из основных разделов отчета по изучаемому рудному объекту.

Одним из основных недостатков в деле изучения рудных месторождений, в настоящее время, является резкое несоответствие объема и детальности минераграфических исследований масштабу и детальности поисково-разведочных работ. В результате этого в многотомных отчетах по поискам и разведке отдельных месторождений нередко минералогической характеристике руд уделяется недостаточное внимание, и приводится лишь краткое описание сравнительно небольшого числа минералов. Таким образом, руды получают одностороннюю характеристику, главным образом по данным опробования, тогда как не производится детальное изучение минералогического их состава с широким применением современных минераграфических методов исследований. Очень ценный каменный материал, получающийся в огромных количествах при разведочных работах, остается, как правило, полностью необработанным. Со временем этот материал пропадает или, в лучшем случае, консервируется, не будучи полностью использованным даже для практических целей.

Изучение минерального состава руд при разведочных работах осуществляется различными способами.

Наименее совершенным, но наиболее практикуемым является такой способ, когда часть собранного при полевой документации (геологической съемки, документации разведочных выработок, обнажений и т.д.) материала, обычно в виде небольшого количества полированных шлифов передается в лабораторию для микроскопической обработки. Такой способ изучения минерального состава руд таит в себе два существенных методических недостатка:

-геологи, непосредственно изучающие месторождение и составляющие отчет, не принимают участия в минералогическом исследовании самих руд, ради чего изучается месторождение;

-микроскопическая обработка производится лицом, не собравшим лично этот материал в поле и, следовательно, имеющим лишь самое общее, иногда весьма смутное, представление о геологическом строении данного месторождения. Кроме того, нередко микроскопическое изучение полированных шлифов руд поручается одному лицу, а прозрачных - другому, т.е. рудные / в большинстве случаев непрозрачные минералы/ и нерудные /прозрачные/ минералы изучаются оторванно друг от друга, что крайне нежелательно.

Также не применяется в широких масштабах систематическое изучение текстур руд в полированных штуфах, в силу этого совершается резкий скачок от изучения рудных тел непосредственно к микроскопическому изучению руд, минуя промежуточную стадию - изучение руд в штуфах.

Такое механическое перенесение петрографических методов исследования в минераграфию, как подчеркивает А.Г.Бетехтин, неверно, ибо руды, в отличие от горных пород, характеризуются значительным непостоянством их структур и текстур.

Следует еще подчеркнуть крайне низкое качество изготавливаемых полированных шлифов, что снижает возможности исследования рудных минералов оптическими методами. От качества же изготовления полированных шлифов во многом зависит успех микроскопического изучения руд в отраженном свете.

Разумеется, при таком способе "организации" минераграфических исследований не может быть дана полноценная характеристика руд, как с точки зрения выявления полного комплекса рудообразующих минералов, так и выяснение ряда важнейших генетических вопросов. Отсюда вытекает необходимость такой организации этих исследований, которая дала бы возможность устранить перечисленные недостатки, а именно:

- минераграфическое исследование руд следует организовывать таким образом, чтобы сбор полевых материалов и камеральная их обработка производилась, по возможности, одним и тем же лицом;

- изучение руд должно базироваться на достаточно большом количестве фактического материала, отвечающего масштабу и степени детальности разведочных работ на отдельных месторождениях;

- минераграфические исследования необходимо произвести в тесной увязке с другими видами геолого-разведочных работ и рассматривать как один из важных звеньев в деле комплексного изучения рудных месторождений;

- должно быть налажено изготовление высококачественных полированных шлифов и штуфов, а также "комбинированных" (прозрачно-полированных) шлифов.

2 Характер минераграфических исследований на различных этапах работ

Изучение минерального состава руд месторождений предусматривает следующие этапы: камеральная подготовка, полевые работы и камеральные исследования.

2.1 Камеральная подготовка

В период камеральной подготовки (до выезда на месторождение) должны производиться следующие виды работ:

- ознакомление с имеющимися отчетами и другими материалами по месторождению. При этом необходимо выяснить степень изученности минералогии месторождения и существующие пробелы.

- ознакомление с каменным материалом по месторождению (если он имеется) и составление, в случае возможности, хотя бы небольшой эталонной коллекции.

- подбор оборудования и материалов, необходимых для проведения минераграфических исследований в полевых условиях.

- составление развернутого плана полевых работ с учетом специфических особенностей данного месторождения, степени его изученности и т.д.

2.2 Полевые работы

2.2.1 Общие сведения. Сбор каменного материала для минераграфических исследований производится двояко:

- попутно при детальном (крупномасштабном) картировании рудоносных участков; документации естественных обнажений, кернов скважин, разведочных выработок (канав, шурфов, забоев и стенок подземных, горных выработок и т.п.) с точной привязкой взятых образцов к разведочным документам (зарисовкам, планам, разрезам и т.д.), изучаются также карьеры и отвалы. В отдельных случаях разведочные документы должны быть детализированы с учетом специфики минераграфических исследований и поставленных перед ними задач;

- дополнительно для специальных целей (крупные штуфы "музейного типа", характеризующие состав и текстуру отдельных типов и сортов руд, коллекции хорошо образованных кристаллов, минералогические пробы, т.е. по возможности чисто отобранные в поле минералы для детальных исследований (химических, спектральных, термических и т.д.). Штуфные

образцы отбираются из всех типов руд, различающихся по цвету, составу рудных минералов и их агрегатов и строению; также отбираются образцы всех разновидностей вмещающих пород вблизи рудных тел.

Полевые минераграфические работы необходимо начинать с составления эталонной коллекции различных типов руд и минералов, которая должна пополняться в течение всего полевого сезона. Наличие такой коллекции совершенно необходимо также для грамотной документации разведочных выработок. Для составления эталонной коллекции, могут быть широко использованы также имеющиеся отвалы руд.

Выявление полного комплекса рудообразующих минералов необходимо, по возможности, производить в поле, широко используя методы макродиагностики минералов с применением паяльной трубки и простейших приемов качественного микрохимического анализа. Исключение могут представлять только те минералы, которые из-за незначительности размеров их зерен могут быть установлены лишь под микроскопом или другими специальными методами. Если некоторые минералы по тем или иным причинам все же не могут быть определены то, по крайней мере должно быть установлено их наличие, степень распространения и собран материал, необходимый для детальных исследований при камеральной обработке.

При полевых работах наличие бинокля обязательно, а поляризационного микроскопа - весьма желательно. В случае невозможности организовать в полевых условиях изготовление шлифов, рудообразующие минералы могут быть изучены под биноклем в совокупности с микрохимическими методами. Массовое применение в полевых условиях микрохимических реакций (в этом отношении представляют большой интерес работы С.А. Юшко), в частности, капельного анализа на фильтре и пленочных реакций на фотобумаге (метода отпечатков), значительно облегчит диагностику минералов.

2.2.2 Отбор каменного материала и полевая документация. Как отмечалось выше, для минераграфических исследований отбираются две коллекции: а) основная или систематическая и б) дополнительная.

Систематическая коллекция подбирается так, чтобы она охарактеризовывала состав руды по мощности, простиранию и падению рудных залежей. Образцы отбираются из всех типов руд, различных по цвету, составу и строению, из коренных обнажений в горных выработках и из керн буровых скважин через более или менее одинаковые интервалы с учетом геологического строения рудных тел. Отбор образцов сопровождается точной привязкой их к разведочным документам. Желательна также привязка образцов систематической коллекции к местам взятия проб для химических анализов (т.е. линиям опробования). Такой способ взятия образцов облегчает сопоставление результатов минераграфических исследований с данными химических анализов средних

проб, характеризующих отдельные рудные тела и сорта руд. Для общей ориентировки можно отбирать образцы из старых отвалов.

Общее количество образцов систематической коллекции определяется исходя из общего метража разведочных выработок, с учетом реальных возможностей их обработки за один камеральный сезон. Во всяком случае, общее число изучаемых шлифов по отдельным месторождениям должно быть не менее 100-150.

Шлифы следует отбирать непосредственно в поле, и на образцах отметить место взятия шлифа, а на кусочках руд цветным карандашом, фломастером или маркером отметить участок, который следует отшлифовать. Если руда неоднородна по составу, с одного и того же образца можно взять по два и более шлифов. Нумерация шлифов и образцов должны совпадать, а дубликатные шлифы отмечаются буквами (шл.78а, 78б и т.д.). При наличии в составе руд нерудных (или вообще прозрачных минералов) следует также взять осколки для прозрачных шлифов с одного и того же образца. Они должны быть идентичными (т.е. представлять один и тот же срез). С помощью таких шлифов изучаются не только прозрачные рудные и нерудные минералы, но и устанавливаются и уточняются взаимоотношения их с рудными непрозрачными минералами.

Все образцы, взятые для минераграфических исследований необходимо занести в особый журнал и подробно описать (минеральный состав, текстурные особенности и т.д.). В этом же журнале отмечается перечень необходимых исследований для каждого образца.

Помимо основной коллекции следует отбирать дополнительную коллекцию, состоящую из небольшого числа крупных штуфов, характеризующих основные типы руд, структурно-текстурные их особенности, наблюдаемые минеральные ассоциации и их характерные типы сростаний и т.д. Из них могут быть приготовлены полированные штуфы (путем распиливания части образца и последующей полировки ее или полировки одной плоскости образца) для систематического изучения текстур руд и установления возрастных взаимоотношений отдельных минералов или их ассоциаций.

В процессе работы должны производиться зарисовки и фотографирование забоев и отдельных частей горных выработок, штуфных образцов, характеризующие возрастные соотношения рудообразующих минералов, текстурные особенности руд, переходы от рудных тел к вмещающим породам и т.д. На этих зарисовках следует указать места взятия образцов или шлифов.

Запись полевых наблюдений производится в хронологическом порядке в полевом дневнике (пикетажке). Кроме того, весьма желательно завести особую тетрадь для сводных описаний.

Тетрадь для сводных описаний минералов и записи результатов полевых наблюдений может состоять из следующих разделов:

-списки рудообразующих минералов: а) полный список минералов месторождения с подразделением их на группы гипогенных и гипергенных

(все минералы, установленные в процессе полевых работ, а также известные по данным предыдущих работ); б) списки минералов по отдельным участкам, рудным телам или крупным выработкам; в) по типам химических соединений; г) по химическим элементам (по классификации проф. А.С.Уклонского) и т.д.;

-подробное описание отдельных минералов: а) признаки макродиагностики (блеск, твердость, цвет, черта, спайность, магнитность и т.д.); б) результаты микрохимических и других испытаний; в) формы и размеры монокристаллов (если они имеются); г) размер зерен и агрегатов; д) характер распределения в руде (сплошные массы, вкрапленность, прожилки и т.д.) и степень распространения минерала; е) характер ассоциации с другими минералами (парагенезис); ж) возрастные соотношения минералов; з) прочие особенности описываемого минерала;

-описание структур и текстур руд;

-минералогическая характеристика отдельных типов и сортов руд;

- возрастные соотношения отдельных минералов и их парагенетических ассоциаций;

-характер пространственного распределения отдельных типов руд;

-характер изменения боковых пород;

-характер вторичных изменений в рудах;

-вопросы генезиса руд.

Наличие такого рода систематизированной записи позволяет установить и восполнить те или иные пробелы в сборе материала еще в процессе полевых работ и безусловно облегчает и ускоряет составление отчета при камеральных условиях.

По возможности следует стремиться дать количественную характеристику отдельных минералов. Однако, если по тем или иным причинам нельзя давать количественной оценки в точных цифровых выражениях, то лучше ограничиться приближенной (но все же близкой к истине) оценкой, нежели привести заведомо неверные цифровые данные. В зависимости от конкретных условий (например, характера распределения рудных минералов в "жильной" массе) может быть выработана та или иная система приближенной количественной оценки содержания отдельных минералов в руде. Самое главное, чтобы эта система была единая и нужно постоянно ее придерживаться. Например, для оценки содержания минералов "на глаз" (в объемных %) можно использовать следующую систему баллов: 1. до 1 %; 2. 1-5; 3. 5-10; 4. 10-20; 5. 20-30; 6. 30-50; 7. 50-75; 8. 75-100 %. Более точно, содержание минералов в штуфе может быть подсчитано при помощи специально изготовленной для этой цели сетки.

2.3 Камеральные исследования

В течение камерального периода производится обработка собранного по данному месторождению (или их группы) материала и составляется соответствующая глава (или самостоятельный очерк) по минералогической

характеристике руд. Характер камеральных работ в основном сводится к следующему:

- систематизация собранного каменного материала и полевых документов;

- макроскопическое изучение образцов с уточнением диагностики отдельных минералов;

- отбор материала для различных видов анализа (спектральный, химический, термический, рентгеновский, рентгеноспектральный, полярографический и др.);

- изучение руд под микроскопом;

- составление сводных описаний;

- оформление графиков;

- составление минераграфического очерка.

При правильной организации минераграфических исследований значительная часть работ, за исключением изучения руд под микроскопом и составления минераграфического очерка, может быть выполнена в поле. Это несомненно позволит ускорить камеральные работы без ущерба для качества достигаемых при этом результатов.

Систематизация материалов сводится, главным образом, к составлению различного рода указателей и списков, позволяющих быстро ориентироваться в данном материале и классифицировать его по любой заданной системе (например, по типам руд, по выработкам, участкам, горизонтам и т.д.).

Макроскопическое изучение образцов имеет целью: а) выявление полного комплекса минералов, входящих в состав руд; б)уточнение перечня тех минералов, которые заслуживают более детального изучения; в) изучение макроструктур и текстур руд и выяснение возрастных взаимоотношений рудообразующих минералов; г) изучение количественных соотношений рудообразующих минералов и т.д.

Рудные шtuфы должны изучаться с помощью лупы, бинокля, а также с широким применением качественных микрохимических реакций методами паяльной трубки, капельного анализа и т.д. Микроскопические исследования могут внести те или иные (иногда существенные) коррективы в отношении диагностики отдельных минералов, но это не должно служить основанием к недооценке значения предварительного макроскопического изучения руд. Еще раз необходимо подчеркнуть, что все методы исследования взаимно дополняют, но не заменяют друг друга. Отсюда необходимость по возможности комплексного изучения руд.

Отбор материала для детальных исследований может производиться для различных целей:

- уточнения диагностики отдельных рудообразующих минералов с применением различных методов анализа;

- уточнения химического состава руд, вмещающих пород и рудообразующих минералов в отношении главных и второстепенных компонентов, а также изоморфных и т.п. примесей;

-выяснения степени распространения тех или иных элементов, которые могут повысить ценность руды при попутном (комплексном) их извлечении;

-определения удельного веса рудообразующих минералов и т.д.

В зависимости от целей изучения, отбор минералов и руд для детальных исследований может производиться различными способами. Отдельные минералы могут быть выделены при помощи тяжелых жидкостей с последующим отбором под биноклем. Наличие предварительно отобранных в поле "минералогических проб" значительно ускоряет отбор необходимого количества материала в камеральных условиях. Так, для изучения валового "элементного" состава руд методами спектрального анализа можно пользоваться и штучными пробами. При этом желательно подвергать анализу все типы и разновидности руд, сколь-нибудь отличающихся друг от друга по минералогическому составу, степени вторичных изменений, метаморфизации и т.д.

Наличие спектральных анализов руд до микроскопического их исследования желательно, так как это облегчает и ускоряет диагностику рудных минералов.

Микроскопическое исследование руд производится путем:

- изучения полированных шлифов в отраженном свете;
- изучения прозрачных шлифов в проходящем свете;
- изучения "комбинированных" шлифов в отраженном и проходящем свете;

Задачи микроскопических исследований руд сводятся к следующему:

- определения оптических констант минералов.
- определению полного комплекса рудообразующих минералов и их разновидностей, а также количественных соотношений и степени распространения минералов;
- определению микроструктур и текстур руд, форм, размеров зерен отдельных минералов и их агрегатов;
- выяснению химизма процессов рудообразования и вопросов генезиса месторождения.

Перед систематическим описанием рудных шлифов необходим предварительный их беглый просмотр (для этой цели очень удобен вертикальный металлографический микроскоп типа МИМ-8м или ему подобный) с целью предварительного ознакомления с особенностями минералогического состава руд и выявления тех шлифов, которые заслуживают наиболее детального изучения и описания. Очень желательно также описать шлифы не в произвольном порядке, а предварительно сгруппировав их по типам руд, по выработкам и т.д. При этом достигается большая экономия, так как отпадает необходимость описания всех шлифов с одинаковой детальностью.

Главные рудообразующие минералы, диагностика которых обычно не вызывает особых затруднений, должны быть тщательно исследованы в отношении возможных мелких включений в них других минералов

(например блеклых руд в галените, золота в пирите и т.д.). Поэтому систематическое применение при изучении руд иммерсионного объектива, методов структурного травления и контактных отпечатков и т.д., наряду с уточнением их состава химическим, спектральным и т.п. анализами, весьма желательно.

Описание шлифов следует вести не в тетрадях, а на специальных бланках (карточках) стандартного размера (например, 210x150 мм.). Для удобства различного рода обобщений необходимо всегда придерживаться одной и той же последовательности описания. Например, удобно пользоваться схемой карточки шлифа, приложенной к данной записке.

Не останавливаясь на методах диагностики минералов, подробно изложенных в соответствующих курсах по минераграфии, необходимо отметить:

а) при определении минералов под микроскопом в первую очередь следует пользоваться, как это рекомендует И.С.Волынский, физическими, в том числе, кристаллооптическими их свойствами. Во избежании порчи шлифов, к диагностическому травлению следует прибегать лишь по мере необходимости. При этом следует обратить особое внимание на изучение полного комплекса диагностических признаков тех минералов, которые встречены в рудах данного месторождения впервые или они мало "знакомы" изучающему шлиф;

б) результаты изучения диагностических признаков рудообразующих минералов лучше писать не на карточках, а в рабочей тетради, где для каждого минерала отводится, для этой цели, несколько страниц;

в) количественные соотношения минералов оцениваются либо в объемных процентах, либо, как было отмечено выше, в заранее установленных "баллах";

г) при изучении руд в полированных шлифах следует обратить внимание на диагностику не только рудных, но и нерудных, т.н. "жилых" минералов. При некотором навыке наиболее обычные из них (кварц, карбонаты, гранат, барит, флюорит и т.д.) сравнительно легко могут быть диагностированы и в отраженном свете, тем более, при параллельном (одновременном) просмотре их в прозрачных и полированных шлифах из тех же образцов;

д) необходимо по возможности широко применять метод зарисовок, а еще лучше фотографирование шлифов для документации структурно-текстурных особенностей руд, возрастных взаимоотношений минералов и т.д. Для этой цели можно пользоваться специальными микрофотонасадками, в том числе встроенными в микроскоп (типа ПАЛАМ и др.);

е) спецификой рудной микроскопии, в отличие от обычной петрографической работы, является то, что для этой цели наличие только микроскопа (даже хорошего) совершенно недостаточно, а нужно иметь под руками значительное количество жидких и сухих реактивов (для диагностического и структурного травления, микрохимических реакций), а также ряд других мелких принадлежностей. Поэтому полированные шлифы

можно изучать только в специально оборудованном для этой цели кабинете. Без наличия такого кабинета, оснащенного всеми необходимыми принадлежностями и реактивами, о серьезной минераграфической работе не может быть и речи. Кроме того, в минераграфическом кабинете совершенно обязательно наличие опытного лаборанта, владеющего искусством изготовления полированных шлифов высокого качества.

Перед составлением отчета по минераграфическим исследованиям необходимо составить сводные описания. Эта задача значительно облегчается, если такие описания систематически велись, как рекомендовалось выше, и в полевых условиях. Тогда остается только дополнить их по данным микроскопических описаний (карточкам) шлифов, химических, спектральных и т.п. анализов и т.д.

Завершающей стадией проведенных работ по изучению руд является составление отчета. В зависимости от конкретных условий этот отчет может являться соответствующим разделом отчета по месторождению или носить характер самостоятельного очерка.

В отчете по минераграфическим исследованиям руд должны быть освещены: полный списочный состав рудообразующих минералов и классификация их по различным признакам (по типам соединений, элементам, степени распространения, парагенетическим ассоциациям и т.д.), описание рудообразующих минералов. Особенно подробно должны быть описаны главные рудные компоненты и те из минералов, которые имеют наибольшую практическую ценность. С.А. Юшко рекомендует использовать следующую схему описания минералов:

- название минерала, его формула, его диагностические свойства, признаки;
- форма проявления и количество его в различных типах руд;
- морфогенетические особенности минеральных выделений;
- описание типоморфизма различных генераций минерала и характерных для каждой из них минеральных ассоциаций;
- структура и текстура руд;
- минералогическая характеристика отдельных типов и сортов руд;
- характер пространственного распределения отдельных типов руд;
- явление метаморфизма в рудах;
- характер фиксации и степень распространения отдельных элементов в рудах;
- составление схемы последовательности минералообразования в рудах и описание выделенных этапов и стадий минерализаций и масштабов их проявления в рудах;
- закономерности парагенезиса и генезиса руд.

В случае, если отчет представляет самостоятельный очерк, то необходимо привести краткие сведения о геологических условиях размещения и морфологии рудных тел.

Объем отчета может колебаться в значительных пределах (от 20-30 до 100 и более страниц) в зависимости от степени изученности месторождения, масштаба разведочных работ и т.д.

3 Некоторые вопросы диагностики рудных минералов

Правильная диагностика минералов (особенно рудных) как в полевых, так и в камеральных условиях имеет сугубо важное значение и поэтому на этот вопрос должно быть обращено должное внимание.

В полевых условиях диагностика минералов может быть произведена с помощью специальных руководств (напр. определителей минералов Н.А.Смолянинова) на основе тщательного и систематического изучения внешних физических свойств минералов. Однако при этом в ряде случаев не получается однозначного ответа. Поэтому необходимы испытания изучаемого минерала на присутствие того или иного химического элемента, с помощью паяльной трубки или других методов качественного микрохимического анализа. Методы определения минералов с помощью паяльной трубки достаточно общеизвестны и, поэтому, нет необходимости на них останавливаться детально. Следует лишь отметить, что метод паяльной трубки может быть использован двояко: а) как самостоятельный метод для определения минералов; б) как вспомогательный метод открытия тех или иных элементов в изучаемом минерале. В зависимости от количества материала и условий работы может применяться тот или иной вариант.

В полевых условиях, как известно, применяются качественные микрохимические методы капельного анализа и контактных отпечатков. По своей простоте они часто превосходят обычные методы паяльной трубки, не уступая им в надежности открытия отдельных элементов.

Методы капельного анализа и отпечатков сходны в том отношении, что испытание пробы разбивается на две операции: а) растворение минерала; б) воздействием на этот раствор другого реагента ("проявителя") вызывается цветной эффект, указывающий на присутствие того или иного элемента. Разница только в том, что при капельном анализе тонкорастертый порошок минерала сначала растворяется на часовом стекле, раствор переносится на фильтр. Последующее смачивание фильтра проявителем с обратной стороны бумаги (чтобы осадок остался на другой стороне) приводит к открытию искомого элемента в случае присутствия его в пробе.

Наиболее универсальными растворителями в обоих случаях являются HCl (1:1) и HNO₃ (1:1). Проявитель же подбирается в зависимости от типа искомого элемента.

В случае применения метода отпечатков (подробное описание см. в руководствах по минераграфии) требуется предварительная шлифовка образца, хотя бы до получения горизонтальной поверхности. Изготовление таких пришлифовок вполне возможно и при полевых условиях при наличии чугунного диска и некоторых истирающих материалов (карборунда). Бумагу предварительно следует обработать в фиксаже (гипосульфитом).

Шлиф (или пришлифованный образец) накладывается на фотобумагу, предварительно смоченную каплей растворителя. Для лучшего контакта желатинированного слоя бумаги с образцом, последний следует придавить при помощи небольшого груза. После некоторой выдержки (обычно от 30 сек. до 2-3 мин.) шлиф снимают, а фотобумагу смачивают соответствующим проявителем. В случае положительной реакции, как в предыдущем случае, наличие данного элемента фиксируется появлением соответствующей окраски (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Примеры определения минералообразующих элементов методом отпечатка

Минерал, хим. состав	Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
1	2	3	4
Азурит 2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	На Cu		
	HNO ₃ (1:40) или H ₂ SO ₄ (1:20) в течение 2 мин.	1 К ₄ [Fe (CN) ₆] 5 %-ный 2 Рубеановая кислота 1 %-ная + NH ₄ OH 10 %-ный	Розово-коричневое Серо-зеленое
Арсенопирит Fe As S	На Fe		
	HNO ₃ (1:1) в течении 1-2 мин.	К ₄ [Fe(CN) ₆] 5 %-ный	Синее
	На As		
	4 ч. NH ₄ OH 25 %-ный + 1 ч. H ₂ O ₂ 10 %-ный, эл. ток. 4 в 30-60 сек. или без тока 2-3 мин.	AgNO ₃ 5 %-ный	Желто-коричневое, постепенно переходящее в коричневое
Борнит	На Cu		

$\text{Cu}_5 \text{FeS}_4$	NH_4OH 10 %-ный в течение 2 мин.	Рубеановая кислота 1 %-ная	Серо-зеленое
	На Fe		
	HNO_3 (1:20) в течение 2 мин.	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 5 %- ный	Синее

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
Бравойт (Ni, Fe) S_2	На Ni		
	HNO_3 (1:20) в течение 2 мин.	1 Рубеановая кислота + NH_4OH 10 %-ный 2 Диметилглиоксим + NH_4OH 10 %-ный	Розово- фиолетовое Малиновое
	На Fe		
	HNO_3 (1:20) в течение 2 мин.	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 5 %- ный	Синее
Буланжерит $5\text{PbS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	На Pb		
	Поверхность минерала обрабатывают HNO_3 (конц.) просушивают фильтровальной бумагой	KJ 5 %-ный	Желтое

Бурнонит $2\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	Поверхность минерала обрабатывают HNO_3 (конц.) и просушивают фильтровой бумагой	KJ 5 %-ный	Желтое
Висмутин Bi_2S_3	На Bi		
	HCl (1:1) в течении 2 мин.	1 Тиомочевина 10 %-ная 2 Хинин + KJ 5 %-ный 3 CsCl 10 %-ный + KJ 5 %-ный	Желтое Оранжевое Красное
Висмут самородный Bi	1. HNO_3 (1:1) 2. HCl (1:20) в течение 2 мин.	1 Тимочевина 10 %-ная 2 Хинин + KJ 5 %-ный 3 CsCl + KJ 5 %-ный	Желтое Оранжевое Красное
Галенит PbS	На Pb		

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
	Поверхность минерала обрабатывают HNO_3 (конц.)	KJ 5 %-ный	Желтое
Гематит Fe_2O_3	На Fe		
	HNO_3 или HCl (конц.) в течение 3 мин.	1 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 5 %-ный 2 KCNS 20 %-ный]	Синее Коричневато-красное
Джемсонит	На Pb		

$4\text{PbS} \cdot \text{FeS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$	Поверхность шлифа обрабатывают HNO_3 (1:1) и просушивают фильтровальной бумагой	KJ 5 %-ный + H_2SO_4 (1:10)	Желтое
Ильменит $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ или FeTiO_3	На Ti		
	H_2SO_4 (1:4) в течение 2 мин.	Свежеприготовленная хромотроповая кислота	Красное
Куприт Cu_2O	На Cu		
	NH_4OH 10 %-ный в течение 2 мин. HNO_3 (1:20)	1 Рубеановая кислота 2 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 5 %-ный	Серо-зеленое Розово-коричневое
Медь самородная Cu	На Cu		
	NH_4OH 10 %-ный в течение 2 мин.	1 Прямой отпечаток 2 Рубеановая кислота	Голубой Серо-зеленое
Миллерит NiS	На Ni		
	HNO_3 (1:1) в течение 1-2 мин.	1 Диметилглиоксим + NH_4OH 10 %-ный 2 Рубеановая кислота + NH_4OH 10 %-ный	Малиновая Розово-фиолетовая

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
Молибденит	На Mo		

Mo S ₂	Поверхность минерала обрабатывают KMnO ₄ + KOH до появления сплошной пленки, затем промывают водой. После этого в качестве растворителя применяют HNO ₃ (1:20) в течение 1-2 мин.	1 K ₄ [Fe (CN) ₆] 2 Ксантогенат калия	Коричневое Малиновое
Мышьяк самородный As	Ha As		
	HNO ₃ (конц.) с небольшим количеством (NH ₄) ₂ MoO ₄	Прямой отпечаток	Желтое
Никелин NiAs	Ha Ni		
	HNO ₃ (1:20) в течение 1 мин.	1 Демитилглиоксим + NH ₄ OH 10 %-ный 2 Рубеановая кислота + NH ₄ OH 10 %-ный	Малиновое Розово-фиолетовое
Пирит Fe S ₂	Ha Fe		
	HNO ₃ (1:1) в течении 1 мин.	1 K ₃ [Fe (CN) ₆] 5 %-ный 2 K ₄ [Fe (CN) ₆] 5 %-ный 3 KCNS	Синее Коричнево-красное
Пиролюзит MnO ₂	Ha Mn		
	1. Уксуснокислый бензидин 2. HNO ₃ (1:1) в течение 1-2 мин.	Прямой отпечаток K ₃ [Fe (CN) ₆] 5 %-ный	Синее Оранжевое

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
Смитсонит Zn CO_3	На Zn		
	HNO_3 (1:1) в течение 1-2 мин.	1 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1 %-ная + ртутно-родановая соль 2 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 20 %-ный + ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовое
Сфалерит (Zn, Fe)S	На Zn		
	Травление парами царской водки до появления серой пленки после этого в качестве растворителя применяют HNO_3 (1:1) + HCL (конц.) в течение 1-2 мин.	1 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1 % - ная + ртутно-родановая соль 2 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 20 % - ный + ртутно-родановая соль	Сине-фиолетовый (при условии, что Cu и Zn находятся в отношении (1:4)) Голубое
Теннатит Cu_2AsS_3	На Cu		
	Пары царской водки; эксп. 3-5 мин. На фотобумаге NH_4OH 10 % - ный, эксп. 2 или 3-5 мин.	Рубеановая кислота 1 % - ная	Серо-зеленое
Халькопирит CuFeS_4	На Cu		
	Полированную поверхность минерала обрабатывают парами царской водки до появления сплошной коричневой иризирующей пленки.	Рубеановая кислота 1 % - ная	Серо-зеленое

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
	Затем в качестве растворителя применяют NH_4OH 10 % - ный в течении 1-2 мин.		
Халькопирит CuFeS_4	На Fe		
	Полированную поверхность минерала обрабатывают парами царской водки до появления сплошной коричневой иризирующей пленки. Затем в качестве растворителя применяют HCl (1:1) Аншлиф травится в парах царской водки; эксп. 3-5 мин. Растворитель на фотобумаге- NH_4OH (25 %); эксп. 3-5 мин.	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Рубеановая кислота	Серо-зеленое
Церуссит PbCO_3	На Pb		
	HNO_3 (1:20) в течении 1-2 мин.	KJ 5 % - ный или K_2CrO_4 20 % - ный	Желтое

Метод отпечатков имеет ряд преимуществ: во-первых, он позволяет установить не только присутствие того или иного элемента в изучаемом минерале, но и судить по полученному отпечатку о примерном количестве данного минерала, так как при этом на фотобумаге фиксируется форма

кристаллов или агрегатов минерала. Во-вторых, каждый отпечаток сам по себе является объективным документом, допускающим проверку точности сделанных тем или иным лицом качественных испытаний. Поэтому отпечатки должны быть пронумерованы и сохранены до камеральных работ.

Методом отпечатков может быть произведен также, в некоторых случаях, рациональный анализ руд. Последний основан на избирательной растворимости минералов в различных растворителях. Таким образом, путем подбора соответствующих растворителей, может быть последовательно определен один и тот же элемент, входящий в состав различного типа химических соединений (сульфидов, карбонатов, сульфатов). Например, С.А. Юшко рекомендует следующий способ рационального анализа для некоторых минералов (таблица 3.2).

Таблица 3.2 - Пример рационального анализа рудообразующих минералов

Тип соединений	Минерал	Растворитель	Проявитель	Цветной отпечаток
водные сульфаты	мелантерит	дистиллир.вода экспоз. 3мин.	жел. кров.соль	синий
	халькантит	_____	_____	коричнево-розовый
сульфиды	галенит	уксусная кислота (50 %)	5 %-раствор KJ	желтый
	сфалерит	$\text{HNO}_3(1:1) + 0,1$ %раст. $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	раствор ртутнородано вой соли	синий (фиолетовый)
	пирит и марказит	HNO_3 (1:1) 1 мин.	жел.кров.соль	синий
карбонаты	церуссит	HNO_3 (1:20) 2 мин.	5 %-раств. KJ	желтый

	смитсонит	$\text{HNO}_3(1:20)+$ 0,1 % раств. $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	раствор ртутно- родановой соли	сине- фиолетов. отпечаток промыть(3- 5)мин. водой для удаления роданистого железа
--	-----------	---	---	--

При микрохимических испытаниях рекомендуется сначала произвести опыт с эталонным минералом, в котором искомый элемент заведомо присутствует, затем перейти к определению этого элемента в изученном минерале.

Для открытия некоторых элементов, входящих в состав руд месторождений, микрохимическими реакциями методом капельного анализа в качестве растворителя применяются азотная или соляная кислоты (концентрированные или разбавленные водой) и другие. Затем раствор переносится на полоску фильтра и обрабатывается реагентом в зависимости от того, какой элемент нужно открыть. Например, для открытия свинца применяется 5%-раствор йодистого калия (раствор должен быть бесцветным), для цинка - ртутно-родановая соль в присутствии 0,1% раствора азотнокислой меди.

При наличии в пробе свинца на фильтре появляется желтое пятно йодистого свинца. Реакции мешают висмут и ртуть, дающие с йодистым калием осадок оранжевого цвета, а также выделившийся йод, имеющий коричневую окраску.

В случае присутствия в пробе цинка на фильтре образуется сине-фиолетовое пятно ртутно-родановой соли, меди и цинка. При присутствии же меди появляется желто-зеленое пятно ртутно-родановой меди. Если кроме цинка присутствует железо, то пятно имеет буро-красный цвет, который может замаскировать реакцию на цинк. В этом случае окраску роданистого железа следует обесцветить каплей раствора хлористого олова. Указанным путем можно открыть цинк почти во всех минералах, содержащих данный элемент.

Ниже приведены примеры микрохимических реакций, используемых при определении минералообразующих элементов методом капельного анализа (таблица 3.3).

Таблица 3.3 - Примеры определения минералообразующих элементов методом капельного анализа

Минерал, химический состав, %, сингония	Растворитель	Проявитель	Результат реакции (окрашивание)
--	--------------	------------	------------------------------------

1	2	3	4
Гематит Fe_2O_3 ; Fe 70,0; O 30,0; тригон.	Ha Fe		
	HCl конц. эксп.3-5 мин.	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 5 %- ный	Синее
Пирит FeS_2 , Fe 46,6, S 53,4; кубич.	HNO_3 (1:1); эксп. 2 мин.		Синее

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4
Пиролюзит MnO_2 ; Mn 63,2; O 36,8; тетрагон. Псиломелан $\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot$ $n \text{H}_2\text{O}$; MnO_2 60-80; MnO 8-25; H_2O 4-6; Mn 35-60; монокл.	Ha Mn ⁺⁴		
	Уксусно-кислый бензидин; эксп.2 мин.и более	Уксусно-кислый бензидин	Синее. Травление с $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot (1:1) + \text{H}_2\text{O}_2$
Пентландит $(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$; Fe— 32,55; Ni— 34,22; S-33,23; кубич.	Ha Ni		
	HNO_3 конц; на шлифе; эксп. 3 мин.	$(\text{NH}_4)\text{OH}$ + рубееановая кислота	Фиолетовое
Кобальтин CoAsS ; Co 35,40; As 45,30; S 19,30; кубич.	Ha Co		
	HNO_3 конц; эксп.3 мин.	α -Нитрозо- β -нафтол + NH_4OH	Кирпично-красное
Молибденит	Ha Mo		

MoS ₂ ; Mo 59,94; S 40,06; гексагон.	HNO ₃ (1:1) на шлифе эксп.5 мин. + фильтровальная бумага	Ксантогенат калия (свежеприготовле нный)	Фиолетово-красный
Борнит Cu ₅ FeS; Cu 63,33; Fe 11,12; S 25,55; α- борнит (<200 °C) ромбич., псевдо-кубич.; β-борнит (>200 °C); кубич.	На Cu		
	HNO ₃ (1:1); эксп.1 мин.	Рубеановая кислота + 1 %-ная NH ₄ OH	Серо-зеленое

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4
Ковеллин CuS; Cu 66,4; S 33,6; гексагон.	HNO ₃ конц.; эксп.3- 5 мин.	Рубеановая кислота + 1 %-ная NH ₄ OH	Серо-зеленое
Куприт Cu ₂ O; Cu 88,8; O 11,2; кубич.	HNO ₃ конц.; эксп.1-2 мин.	K ₄ [Fe (CN) ₆] 5 %- ный	Розово-коричневое
Малахит Cu ₂ [OH] ₂ CO ₃ ; CuO 71,9; Cu 57,4; CO ₂ 19,9; H ₂ O 8,2; монок.	NH ₄ OH (10-25 %); эксп. 1 мин.	Рубеановая кислота 1 %-ная	Серо-зеленое
Медь самородная Cu 97,20-98,3; кубич.	NH ₄ OH; эксп.2 мин. HNO ₃ (1:1); эксп.2 мин.	Рубеановая кислота 1%-ная K ₄ Fe (CN) ₆ 5 %- ный	Серо-зеленое Розово-коричневое
Галенит PbS;	На Pb		

Pb 86,60; S 13,40; кубич.	HNO ₃ конц. на шлифе; эксп. 1 мин. Избыток кислоты снять фильтровальной бумагой	KJ 5 %-ный положить на травле-ное место шлифа	Желтое
Сфалерит ZnS; Zn 67,1; S 32,9; кубич.	На Zn		
	5 частей HNO ₃ (1:1) + 1 часть 1 %-ного Cu(NO ₃) ₂ ; эксп. 3-5 мин	HgCl ₂ + KCNS	Фиолетовое. Промыть в воде

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4
Тетраэдрит Cu ₃ SbS ₃ ; Cu 45,77; Sb 29,22; S 25,01; кубич.	На Sb		
	HNO ₃ конц; эксп. 5 мин. Избыток кислоты снять фильтр. бумагой. Положить каплю HCl (1:1)	KI + CsCl (порошок)	Осадок красного цвета
Висмутин Bi ₂ S ₃ ; Bi 81,3; S 18,7; ромбич.	На Bi		
	HCl (1:1); эксп. 2 мин.	а) Хинин + KI 5 %-ный б) Тиомочевина	а) Оранжеватое б) Желтое
Аргентит	На Ag		

Ag_2S ; Ag 87,06; S 12,94; α -аргентит (<179 °C) β - аргентит (>179 °C) кубич. монокл. скрыто-крист.	Одна часть 5 %-ного +одна часть насыщенного раствора p-диметиламинобензилидеридамина в ацетоне; эксп. 3-5 мин. Промыть в воде подкисленной HNO_3	Фиолетово-красное
---	--	-------------------

Заключение

Следуя рекомендациям настоящего методического руководства, можно с успехом подготовить полевой материал для следующего этапа – детальных лабораторных минераграфических исследований и более целенаправленно и осознанно перейти к изучению конкретных свойств рудных минералов под микроскопом.

Кроме студентов, данное руководство может быть полезным для молодых специалистов, не имеющих достаточного опыта в области минераграфических исследований. Желательно и детальное ознакомление с его содержанием работников геологоразведочных партий, которые смогут внести соответствующие дополнения и коррективы в методику таких исследований в зависимости от специфических условий изучения данных месторождений.

Список использованных источников

- 1 Афанасьев Е.Л., Исаенко М.П. Определитель гипергенных минералов окисленных сульфидных руд в отраженном свете. –М.: Недра, 1974. –80 с.
- 2 Баталов А.К. К микроскопическому определению рукообразующих минералов западного Узбекистана. Отд. Всес. минер. общ-ва. Изд. АН Уз ИР, 1953
- 3 Вахрамеев С.А. Руководство по минераграфии, -Иркутск: 1956.
- 4 Исаенко М.П. и др. Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете. –М.: Недра, 1978
- 5 Исаенко М.П., Афанасьева Е.Л. Лабораторные методы исследования руд: Учеб. Для вузов. –М.: Недра, 1992
- 6 Камерон Ю.М. Современные методы исследования рудных минералов под микроскопом. –М.: Мир, 1966. –308 с.
- 7 Рамдор Пауль. Рудные минералы и их срастания. –М.:ИЛ, 1962. – 1132 с.
- 8 Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете / Т.Н. Чвилева, М.С. Безсмертная, Э.М. Спиридонов и др. –М.: Недра, 1988. –504 с.
- 9 Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд. –М.: Недра, 1971. –344 с.