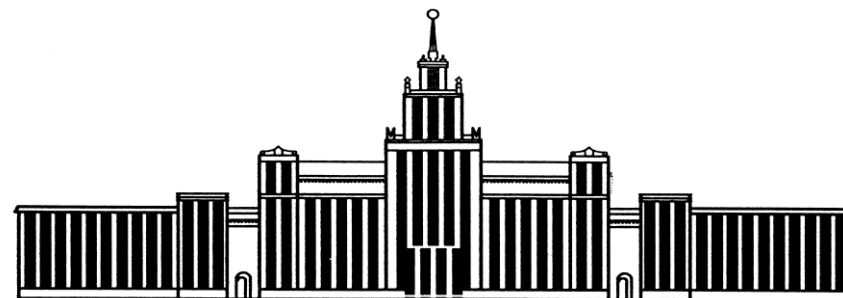

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

549.07
Б435

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ.
ЧАСТЬ I**

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Челябинск
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Филиал в г. Миассе
Кафедра минералогии и геохимии

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ. ЧАСТЬ I

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2016

УДК 549.08(075.8)
Б435

*Одобрено
учебно-методической комиссией
геологического факультета
филиала ЮУрГУ в г. Миассе.*

*Рецензент:
В.В. Масленников*

Б435 Технологическая минералогия. Часть I: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. Е.В. Белогуб, Н.П. Сафина, М.В. Заботина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – 23 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Технологическая минералогия» и рекомендуется для работы со студентами технических вузов, осуществляющих подготовку бакалавров по направлению «Геология». Содержит описание трех лабораторных работ, которые необходимо выполнить студентам при освоении количественного минералогического анализа с использованием оптико-микроскопических методов.

УДК 549.08(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Теоретические основы количественного минералогического анализа с использованием оптических препаратов	
1.1. Определение величины зерен	
1.1.1. Оценка размера зерен.....	4
1.1.2. Точное измерение размера зерен.....	5
1.2. Определение количественных соотношений минералов	
1.2.1. Площадной метод.....	6
1.2.2. Линейный метод.....	8
1.2.3. Точечный метод.....	9
Глава 2. Лабораторная работа № 1. Сопоставление минерального состава колчеданных руд и продуктов их флотации.....	11
2.1. Теоретическая часть.....	11
2.2. Порядок выполнения работы	13
Глава 3. Лабораторная работа № 2. Минеральный состав золотоносного тяжелого концентрата.....	14
3.1. Теоретическая часть.....	15
3.2. Порядок выполнения работы	18
Глава 4. Лабораторная работа № 3. Сопоставление минерального состава сырых и обожженных железорудных окатышей.....	19
4.1. Теоретическая часть.....	19
4.2. Порядок выполнения работы.....	21
Библиографический список.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплине «Технологическая минералогия» в восьмом семестре подготовки бакалавров по направлению «Геология». Целью лабораторных работ является знакомство с оптико-микроскопическими методами количественного минералогического анализа и освоение начал их применения на примерах руд и технологических продуктов, получаемых на предприятиях горно-обогатительной отрасли.

С точки зрения технологической минералогии, наиболее важными характеристиками руд являются размер зерен минералов-концентраторов полезных компонентов, который определяет необходимую степень измельчения, а также характер границ между различными минералами и количественные соотношения между ними. При изучении продуктов технологического передела важно количественное определение соотношения мономинеральных зерен и сростков.

Для определения этих характеристик применяются различные методы и подходы, из которых в современном минералогическом анализе для технологических целей применяются как классические оптические, так и методы, основанные на картировании распределения химических элементов на поверхности полированных препаратов. Последний метод невозможен без привлечения рентгенофлуоресцентного анализа в варианте исследования макроскопических образцов, либо на основе электронных микроскопов. Также, в настоящее время получает развитие метод рентгеновской томографии геологических образцов и препаратов технологических продуктов, анализ которых базируется на сканировании рентгеновской плотности пространства. Оба последних метода, по сравнению с оптическим, позволяют достичь большей точности, но требуют дорогостоящего оборудования и поставлены только в считанных лабораториях РФ, что ограничивает область их применения. Поэтому, классические оптические методы количественного минералогического анализа остаются востребованными и сегодня.

Нужно подчеркнуть, что оптические методы бессильны при работе с объектами, размер которых ниже, чем оптическое разрешение. На практике, даже точная диагностика выделений минералов, размеры которых составляют менее 3 мкм, невозможна. Поэтому, в реальной работе нужно использовать, по возможности, адекватный для конкретного сырья набор приемов и методов.

Количественные измерения и анализ наблюдаемых изображений может быть ручным или автоматизированным. В данном пособии рассматриваются только ручные способы.

Для освоения методов оптического анализа с акцентом на определение количественных характеристик минерального сырья и технологических продуктов студенту необходимо освоить курсы минералогии, петрографии и минераграфии, а также иметь представление о промышленно-технологических типах руд, способах их добычи и переработки.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОЛЛИЧЕСТВЕННОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

1.1. Определение величины зерен

1.1.1. Оценка размера зерен

Простейшим подходом к определению размеров зерен служит оценка и сопоставление со стандартными, принятыми при описании пород и руд, терминами. Так, зерна минералов в гиганто- и крупнозернистых породах и рудах видны невооруженным глазом и могут быть измерены при помощи обычной линейки. Зерна в среднезернистых объектах хорошо различимы, но для измерения и диагностики каждого минерала приходится прибегать к помощи ручной лупы. Мелкозернистые объекты могут быть рассмотрены в деталях только при увеличениях лупы 5 и 10 крат, а для точных измерений и диагностики требуется применение оптико-микроскопических методов. Тонкозернистые объекты можно изучить в деталях только с привлечением дополнительных методов локального анализа или специализированных методов изучения гранулометрического состава. Классификация, принятая в технологической минералогии, приведена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация минеральных выделений (зерен и минеральных агрегатов) по размерам [6]

Рудные текстуры/структуры	Тип выделений	Преобладающий размер выделений, мм	Условия наблюдения и измерений
Макро-текстуры (макро-структуры)	Весьма крупные	20–200	Отчетливо наблюдаются невооруженным глазом
	крупные	2–20	Видны невооруженным глазом, размеры определяются непосредственным измерением
Микро-текстуры (микро-структуры)	мелкие	0,2–2	Наблюдаются с помощью лупы или невооруженным глазом
	тонкие	0,02–0,2	Различимы при помощи лупы и микроскопа. Размеры определяют при помощи микроскопа.

Рудные текстуры/ структуры	Тип выделений	Преобладающий размер выделений, мм	Условия наблюдения и измерений
	Весьма тонкие (эмульсионные)	0,002–0,02	Наблюдают и измеряют только при помощи микроскопа
	субмикрос копические	0,002–0,0002	Под микроскопом можно наблюдать только при максимальных увеличениях. Размеры определяют специальными методами
Дисперсно-коллоидные		< 0,0002	Неразличимы в оптических микроскопах даже с максимальными увеличениями. Требуют специальных методов исследования.

1.1.2. Точное измерение размера зерен

Точное определение размеров зерен требует инструментального подхода – измерений при помощи линеек, окуляров и объект-микрометров. Необходимо всегда помнить, что при формировании окончательного вывода о размерности зерен, составляющих руду, необходим статистический подход.

Ручное определение величины зерен под микроскопом осуществляется с помощью измерительного окуляра или объект-микрометра.

Измерительный окуляр представляет собой обычный окуляр с установленной в поле зрения шкалой или сеткой. Шкалой пользуются для линейных измерений, а сеткой – для площадных. Для того чтобы пользоваться измерительным окуляром, необходимо знать цену одного деления линейной шкалы (или сетки).

Цена деления определяется отдельно для каждого объектива. Для этого на столик микроскопа кладется объект-микрометр и на него фокусируется микроскоп. Один из штрихов объект-микрометра совмещается с началом линейной шкалы (или сетки) окуляра. Затем определяется количество делений объект-микрометра, которые укладываются в линейной шкале (или сетке) окуляра при объективах различного увеличения.

Цена деления шкалы (или сетки) окуляра вычисляется по формуле:

$$\varepsilon = ZT / A,$$

где ε – цена деления шкалы или сетки окуляра, мм; Z – число делений объект-микрометра; T – цена деления объект-микрометра; A – число делений шкалы (или сетки) окуляра.

Измерительный окуляр может оснащаться микрометрическим винтом (рис. 1.1), что делает измерения более точными.

При описании руд обычно указываются пределы измерений линейного размера зерна и преобладающие величины. Изометричные зерна характеризуются величиной поперечного сечения, для удлиненных – указывается длина и ширина. Не следует забывать, что мы имеем дело с сечениями зерен, при этом максимальный линейный размер сечения достигается редко. При работе с препаратами из технологических продуктов следует учитывать, что зерна представляют собой продукт дробления.

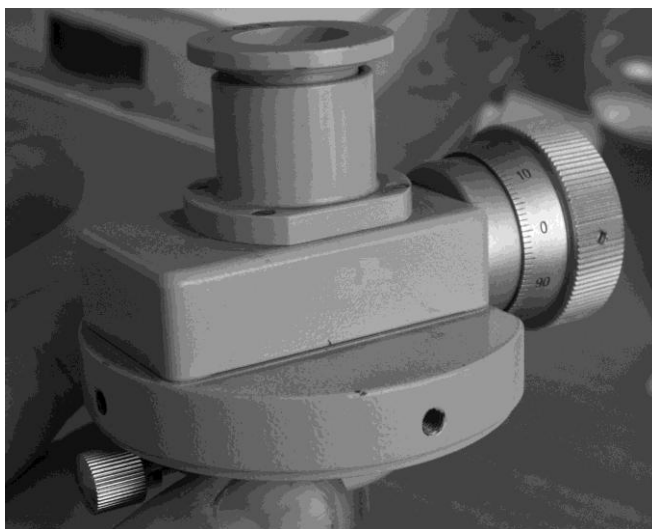


Рис. 1.1. Окулярный винтовой микрометр (Zeiss)

1.2. Определение количественных соотношений минералов

1.2.1. Площадной метод

Площадной анализ состоит в измерении двумерных изображений плоских сечений руд или препаратов, изготовленных из разрозненных частиц минералов, технологических продуктов и др.

Первое упоминание о методике получения количественных данных при анализе изображений относится к 1848 г. Французский минералог де Лессе установил объемное содержание (в %) определенного минерала в породе, измерив площадь, занимаемую этим минералом в произвольном сечении породы. Он предложил очень трудоемкий способ измерения площадных соотношений: контуры зерен измеряемого минерала переносят на кусок просвечивающей материи, затем наклеивают материю на листок фольги, вырезают ножницами те части, которые соответствуют зернам интересующего

минерала, взвешивают их и получают «аналитический баланс». Отношение массы частей листочка фольги, соответствующих минералу, к общей массе фольги, покрывающего изучаемое сечение породы, дает довольно точную площадную оценку количества минерала на измеряемой поверхности. Далее де Лессе предположил, что площадное соотношение эквивалентно объемному соотношению минерала в образце в случае, если:

- 1) измеряемая площадь представляет собой случайное сечение породы (руды);
- 2) измеряемая площадь сечения много больше площади сечения отдельных зерен изучаемого минерала;
- 3) случайное сечение достаточно велико, чтобы получить статистически достоверное число измеряемых зерен.

Принцип измерений, заложенный в методе де Лессе, лег в основу планиметрического метода и использован в современных автоматизированных системах анализа изображения.

При ручном подходе в фокальную плоскость окуляра вставляется стеклянная пластинка с квадратной сеткой. Далее подсчитывают количество клеток, покрывающих каждый минерал, при этом неполные клетки соединяют и дополняют на глаз до целых (рис. 1.2). После подсчета всех минералов, наблюдаемых в пределах квадратной сетки, передвигают шлиф с помощью препаратопроводителя на смежный участок. Чем большая площадь шлифа охвачена подсчетом, тем точнее количественная оценка. Для получения объемных соотношений подсчитанного слоя его толщина условно принимается равной единице. При этом предполагается, что количественные соотношения минералов в пределах слоя те же, что были установлены в плоскости шлифа. В практике минералого-технологических работ для проверки используют сопоставление содержаний компонента, полученного при пересчете объемных соотношений минерала-концентратора в весовые и результаты химического анализа руд. При наличии данных о химическом составе минерала-концентратора в результаты пересчетов вносят соответствующие поправки.

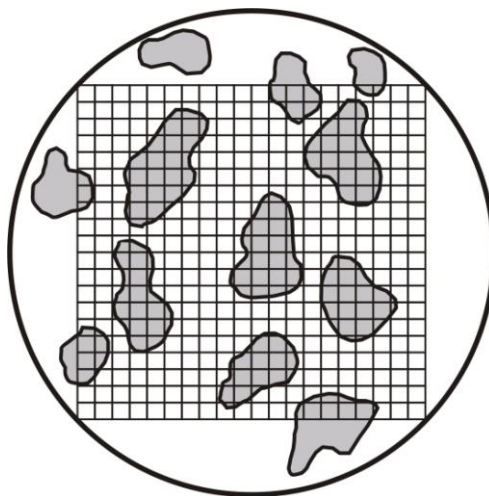


Рис. 1.2. Схематичное изображение препарата в микроскопе. Сеткой обозначена площадь сечений минералов в плоскости шлифа

Метод стандартного препарата был предложен С. А. Вахромеевым. Количественные содержания минералов в шлифе устанавливаются путем сравнения с эталонной диаграммой (рис. 1.3). Этот метод целесообразно использовать для исследования сложных или разнородных материалов, а также для быстрой оценки содержания выбранных минералов.

Если задача состоит в проведении большого числа измерений на сравнительно простых и однообразных образцах, рационально применять автоматизированные системы [2].

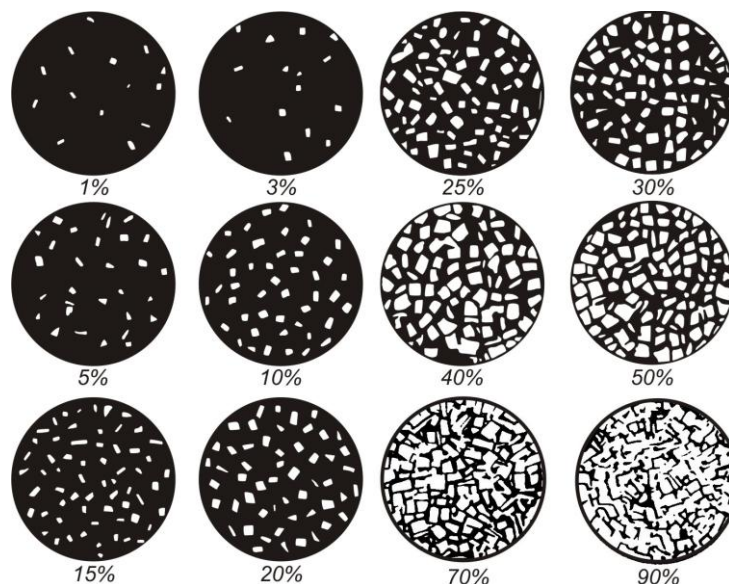


Рис. 1.3. Определение относительного количества минералов методом стандартного препарата [7]

1.2.2. Линейный метод

В 1898 г. А. Розиваль разработал существенно более простой по сравнению с методом де Лессе метод оценки соотношения минералов в породе, основанный не на площадных, а на линейных измерениях. На образец накладывается сетка параллельных измерительных линий (рис. 1.4); процент от общей длины отрезков этих линий, попадающий на измеряемый минерал, дает линейное отношение этого минерала:

$$L_A / L_T = \text{линейное отношение минерала } A,$$

где L_A — общая длина отрезков линий, попадающих на минерал A , L_T — общая длина линий, пересекающих измеряемое сечение.

Линейное отношение минерала эквивалентно его объемному содержанию в породе. Эквивалентность сохраняется в том случае, если:

- 1) измеряется случайное сечение образца породы;
- 2) сечение достаточно велико и включает достаточное число зерен интересующего минерала;
- 3) измеряемая линия имеет длину большую по сравнению с «линейными» размерами измеряемых зерен;

- 4) каждое зерно пересекается не более, чем одной измеряемой линией;
- 5) ориентировка линий не совпадает с линейными или текстурными особенностями образца.

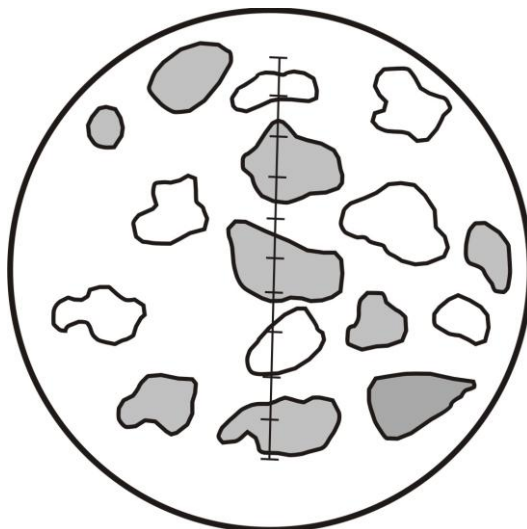


Рис. 1.4. Схематичное изображение линейного метода подсчета количественного содержания минералов. Подсчитывается суммарная длина отрезков, пересекающих сечения минералов в плоскости шлифа

1.2.3. Точечный метод

Система точечного метода для определения соотношений минералов была предложена в 1930 г. А. А. Глаголевым и независимо от него Е. Томпсоном. Метод основан на следующем положении: если в плоскости шлифа равномерно расположить некоторое количество точек (порядка 500–1000), то соотношение количества точек, пришедшихся на долю каждого минерала, может быть приравнено к соотношению суммарных площадей, занимаемых сечениями этих минералов в шлифе, а, следовательно, и суммарных объемов, занимаемых зернами этих минералов в образце. Эквивалентность соблюдается при условии, что:

- 1) измерения проводятся на случайном сечении породы;
- 2) сечение достаточно велико и включает достаточное количество зерен измеряемого минерала;
- 3) число промежутков в сетке велико;
- 4) ориентировка сетки произвольна по отношению к любой линейной характеристике образца.

При этом $P_A / P_T = V_A$, где P_A – количество измеряемых точек, попадающих на минерал А; P_T – общее число измеряемых точек; V_A – объемное соотношение минерала А.

Техника подсчета точечным методом заключается в следующем. С помощью одного из винтов препаратоводителя шлиф передвигается отрезками, равными среднему диаметру зерен. Производится подсчет зерен минералов попадающих на крест нитей, либо подсчет производится при

помощи специальной сетки (рис. 1.5). Таким образом, зондируется вся поверхность шлифа. Результаты подсчета выражаются в процентах содержания каждого минерала в шлифе.

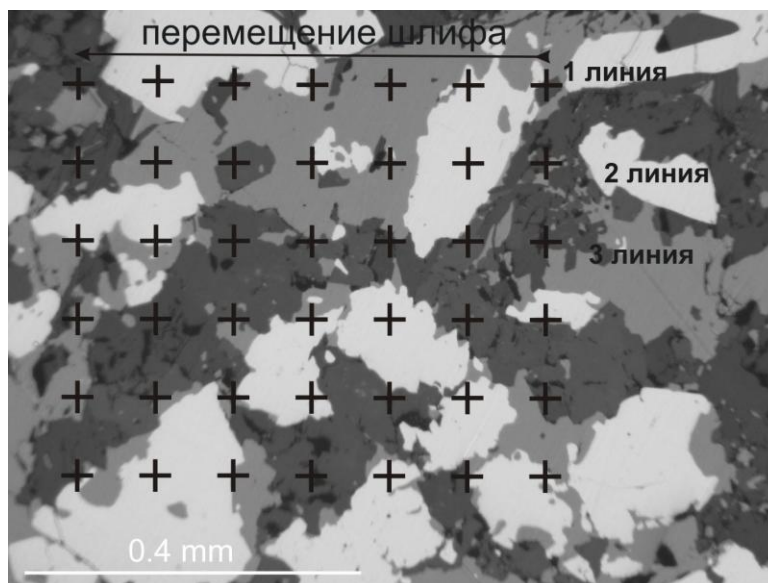


Рис. 1.5. Схематичное изображение точечного метода подсчета количественного содержания минералов

Приближенная оценка количественных соотношений минералов в полированных препаратах, изготовленных из дробленого материала (усредненных руд, технологических продуктов, тяжелых концентратов) может быть проведена статистическим способом, аналогичным применяемому в шлиховом анализе. При этом в плоскости препарата подсчитывается количество зерен каждого продиагностированного минерала. Дальнейший подсчет основан на предположении, что зерна имеют близкую гранулометрическую размерность, а их распределение в пределах препарата равномерно и представительно для изучаемого продукта. В первом приближении считается, что все зерна имеют одинаковую сферическую форму. Результатом подсчета является оценка объемных соотношений между минералами, которые могут быть приведены к весовым количеством путем учета плотности соответствующих минералов. При этом следует учитывать средний гранулометрический состав. Преимущества метода заключаются в относительно быстрой анализе и возможности одновременного учета большого количества минералов и разных минеральных сростков.

2. Лабораторная работа № 1

СОПОСТАВЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КОЛЧЕДАНЫХ РУД И ПРОДУКТОВ ИХ ФЛОТАЦИИ

Цель работы: получение навыков применения оптико-микроскопических методов для оценки минерального состава, структуры колчеданных руд и продуктов их флотационного передела.

Оборудование: бинокляр, измерительная линейка, минераграфический поляризационный микроскоп, пресс для монтирования препарата, спирт и замша/кожа для удаления грязи с поверхности полированных препаратов, брикеты на основе эпоксидной смолы, справочник-определитель минералов в отраженном свете, данные о химическом составе руд и продуктов.

Необходимые навыки, усвоенные при изучении предшествующих курсов: представления о химическом и минеральном составе колчеданных руд, флотационном способе обогащения, умение работать на поляризационном микроскопе, основы определения минералов, текстур и структур в отраженном свете.

2.1. Теоретическая часть

Колчеданные месторождения разделяются на несколько типов – кипрский (Cu), уральский (Cu-Zn), куроко или баймакский (Cu, Zn, Au, Ag), филизчайский (Zn, Pb). Колчеданные руды – это существенно сульфидные образования, характеризующиеся разнообразными текстурами и структурами. В основном они состоят из пирита, халькопирита, сфалерита, иногда – галенита и блеклых руд, список второстепенных и редких минералов насчитывает более 50 минеральных видов халькогенидов, самородных металлов и интерметаллидов. Нерудная составляющая представлена кварцем, серицитом, хлоритом, карбонатами (сидерит, кальцит), иногда – актинолитом и эпидотом. Часто колчеданные руды обогащены магнетитом и гематитом. Текстурно-структурные особенности колчеданных руд демонстрируются рис. 2.1.

Для обогащения колчеданных руд применяется, в основном, флотация. Процесс флотации основан на различной смачиваемости поверхности зерен водными растворами, при этом флотируемые минералы собираются в так называемый пенный продукт, а нефлотируемые при данных условиях опускаются на дно емкости. Флотация сульфидных руд использует худшую смачиваемость сульфидов водным раствором бутилового ксантогената по сравнению с силикатными минералами и карбонатами, а также возможность разделить сульфиды, применяя различные активаторы и депрессоры – вещества, влияющие на свойства поверхности отдельных минералов. Для эффективной флотации руды должны быть измельчены до состояния более 75–90 % материала с размером зерен мельче 0.074 мм. При этом достигается максимально возможное раскрытие минералов. Зерна крупностью < 5 мкм склонны к флокуляции (слипанию) и ухудшают эффективность обогащения.

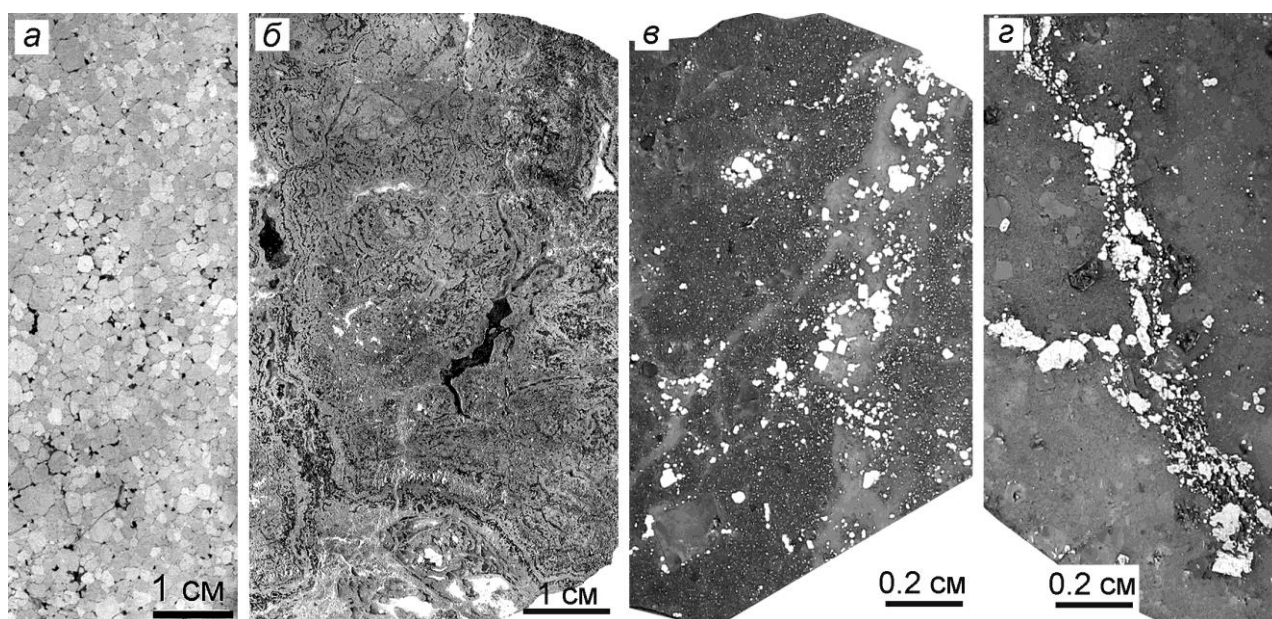


Рис. 2.1. Типичные структуры и текстуры колчеданных руд:
 а – равномернозернистая структура субгедрального пирита; б – колломорфная массивная текстура; в – вкрапленная текстура: вкрапленность пирита в породе;
 г – прожилковая текстура: прожилки кристаллического агрегата пирита в породе

Фотографии, демонстрирующие внешний вид препарата, изготовленного из усредненной руды и флотационных концентратов, полученных из колчеданных руд, показаны на рис. 2.2. и 2.3.

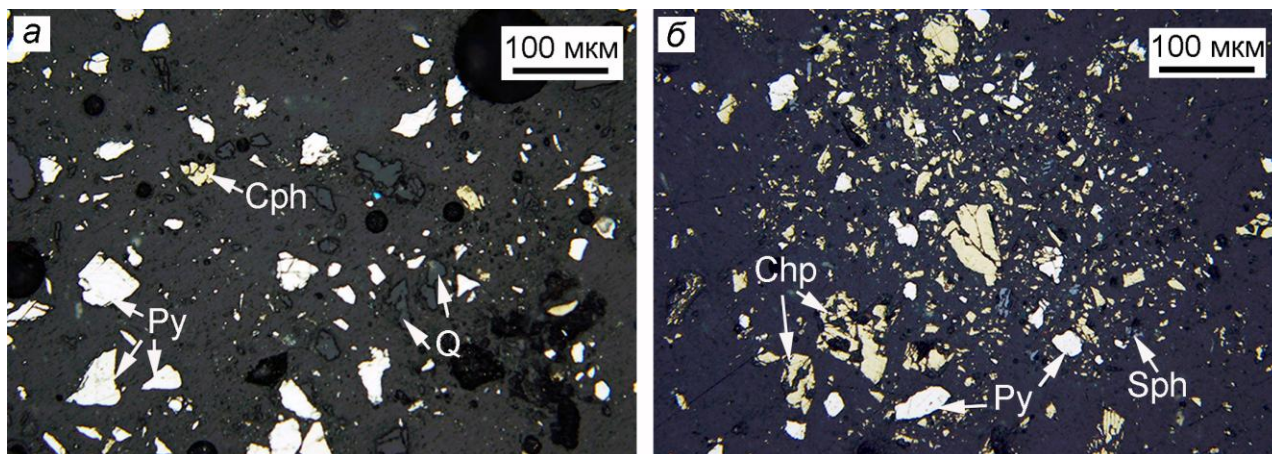


Рис. 2.2. Общий вид препаратов, изготовленных из усредненных массивных колчеданных руд. Py – пирит, Cph – халькопирит, Sph – сфалерит, Q – кварц

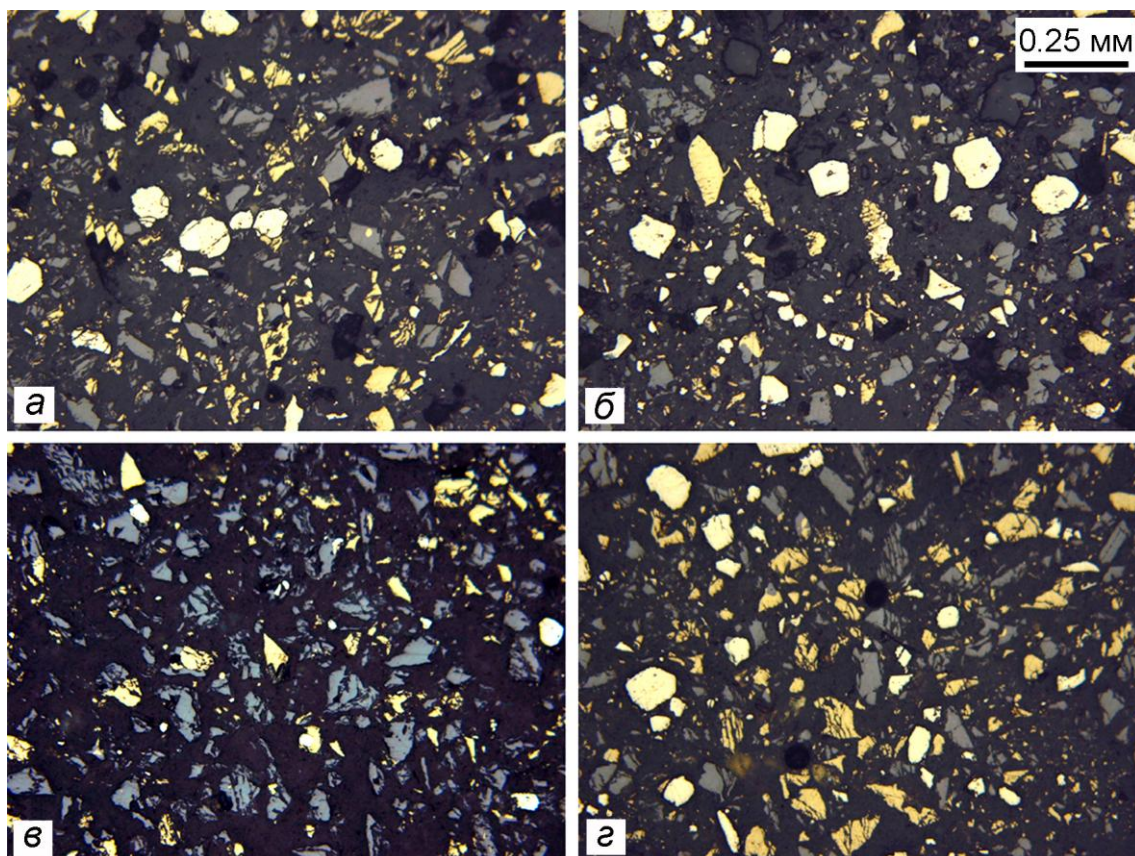


Рис. 2.3. Общий вид флотоконцентратов, полученных из медно-цинковых колчеданных руд уральского типа, с различным процентным содержанием основных сульфидных минералов – сфалерита, халькопирита и пирита

2.2. Порядок выполнения работы

1. Подготовить препараты первичной руды и продукта технологического передела, освежить поверхность.
2. При помощи бинокулярного микроскопа определить текстурный тип руды, оценить размеры зерен минералов, определить основные минералы, выделить природные ассоциации минералов в руде.
3. Смонтировать препарат на предметный столик при помощи пресса.
4. Уточнить диагностику минералов, их природную размерность, характер границ.
5. Зафиксировать результаты наблюдений в таблице.

№ пробы	Текстура руды			Минералы			
	Текстура, структура	Природные ассоциации	Геометрические параметры ассоциаций	Форма	Границы зерен	Размер	Включения (вид, форма, размер)

6. Дать прогноз возможности высвобождения минералов при измельчении до флотационной крупности.
7. Смонтировать препарат флотационного продукта на предметный столик.

8. Уточнить характер продукта. Ознакомиться с химическим составом руды и продукта.

9. Определить минералы, размеры сечений зерен, охарактеризовать включения и сростки с разделением сростков на богатые ($> 70\%$), рядовые и бедные ($< 30\%$).

10. Подсчитать количество свободных зерен и сростков каждого вида статистическим методом, не менее 500 зерен, с поправкой на размерность.

11. Зафиксировать результаты наблюдений в таблице.

№ пробы	Свободные зерна			Сростки		
	Мин1	Мин2	Мин1 + включ. Мин2	Мин1 > Мин2	Мин1 + Мин2	Мин1 < Мин2
Количество зерен (шт.)						
Количество зерен (%)						

12. Рассчитать содержание основных компонентов (медь, цинк, железо), исходя из стехиометрических содержаний в минералах и их количества, сопоставить с результатами химических определений.

13. Оформить отчет.

3. Лабораторная работа № 2

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТОНОСНОГО ТЯЖЕЛОГО КОНЦЕНТРАТА

Цель работы: получение навыков применения оптико-микроскопических методов для оценки минерального состава золото-сульфидных руд путем исследования полученного из них гравитационного концентрата.

Оборудование: бинокляр, предметное стекло, лезвие для подготовки «дорожек», измерительная линейка, игла для работы со шлиховыми концентратами, минераграфический поляризационный микроскоп, пресс для монтирования препарата, спирт и замша/кожа для удаления грязи с поверхности полированного препаратов, брикеты на основе эпоксидной смолы, справочник-определитель минералов в отраженном свете, данные о химическом составе руды и гравитационного концентрата.

Необходимые навыки, усвоенные при изучении предшествующих курсов: представления о химическом и минеральном составе золото-сульфидных руд, гравитационном способе обогащения, умение работать на поляризационном микроскопе, основы определения минералов, текстур и структур в отраженном свете.

3.1. Теоретическая часть

Промышленно-технологический тип золото-сульфидных месторождений выделяется среди прочих золоторудных по признаку устойчивой ассоциации промышленных концентраций золота с повышенным содержанием сульфидов в рудах. Количество сульфидов может значительно варьировать, но, в среднем, не достигать уровня массивных руд (более 70–75 % сульфидной составляющей или 33 мас.% серы). Среди сульфидов в золото-сульфидных рудах больше всего распространены пирит, арсенопирит, леллингит, марказит, халькопирит, сфалерит, блеклые руды. Среди нерудных минералов обычны кварц, карбонаты (кальцит, минералы ряда доломит-анкерит), барит. Перечисленные сульфиды, так же как золото и некоторые нерудные минералы (барит, сидерит) характеризуются высокой плотностью и извлекаются в гравитационный концентрат. Для обогащения золото-сульфидных руд, наряду с флотационными методами, применяется также предварительное гравитационное обогащение. В промышленности для этого используются концентрационные столы, винтовые и центробежные сепараторы. Разделение происходит в воде. При лабораторных исследованиях первоначально получают концентрат в лотке или на сепараторе, который затем доочищают в тяжелых жидкостях, среди которых чаще всего применяется бромформ ($d = 2,9 \text{ г/см}^3$). Для дальнейшего изучения гравитационный концентрат разделяется на гранулометрические классы и фракции по магнитности. При этом обычно используются наборы сит (мм): +1, от +0.5 до –1, от –0.5 до +0.25, от –0.25 до +0.1, –0.1. В зависимости от конечной цели исследования разделение на гранулометрические классы может быть более или менее дробным. В частности, если в комплекс планируемых работ входит гранулометрический анализ золота, то набор сит должен обеспечивать выполнение требований Инструкции по подсчету запасов.

Лабораторное изучение гравитационного концентрата золото-сульфидных руд предусматривает установление количественного минерального состава гравитационного концентрата в каждой фракции и определение морфологии золотин, соотношения золота в виде свободных зерен, сростков с другими минералами и включений в других минералах. Для этого сначала изучают каждую выделенную фракцию при помощи бинокулярного микроскопа, диагностируют все минералы и проводят их количественный подсчет статистическим способом (рис. 3.1.).

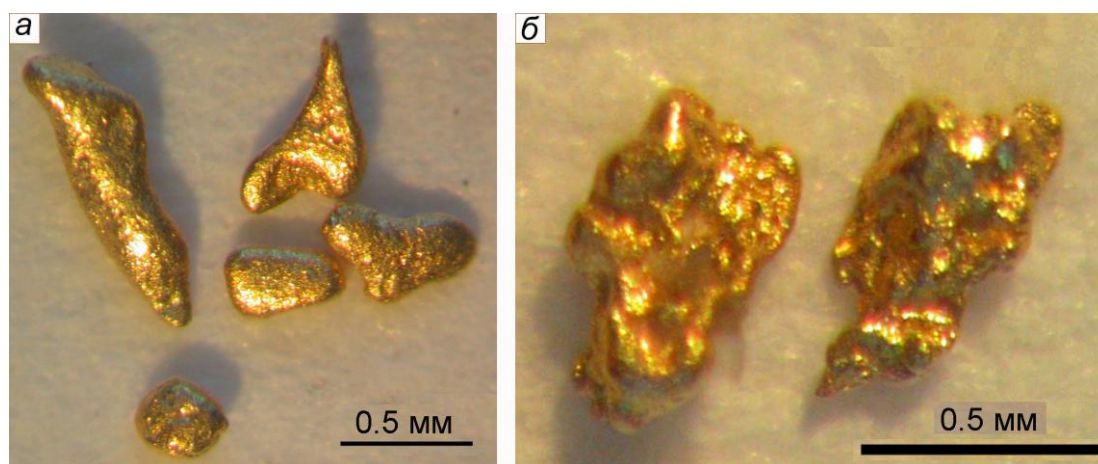


Рис. 3.1. Окатанное делювиальное (а) и неокатанное элювиальное (б) золото. Фото под бинокулярным микроскопом (Рассомахин М.А.)

Обнаруженные золотины и сростки золота отбираются в отдельный пакет для изучения при помощи СЭМ (рис. 3.2.).

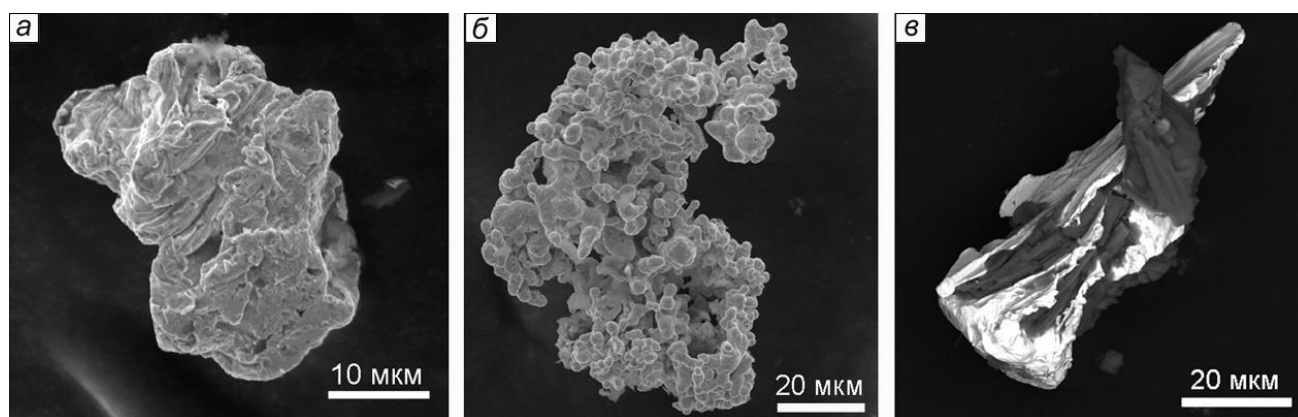


Рис. 3.2. Золото из гравитационного концентрата, полученного из протоочки руды: свободные зерна (а, б) и сросток с кварцем (в). Фото СЭМ (Блинов И.А.)

После этого изучают полированные брикеты, изготовленные из каждой фракции в целях подтверждения диагностики и выявления включений, тонких сростков и других особенностей минералов (рис. 3.3.).

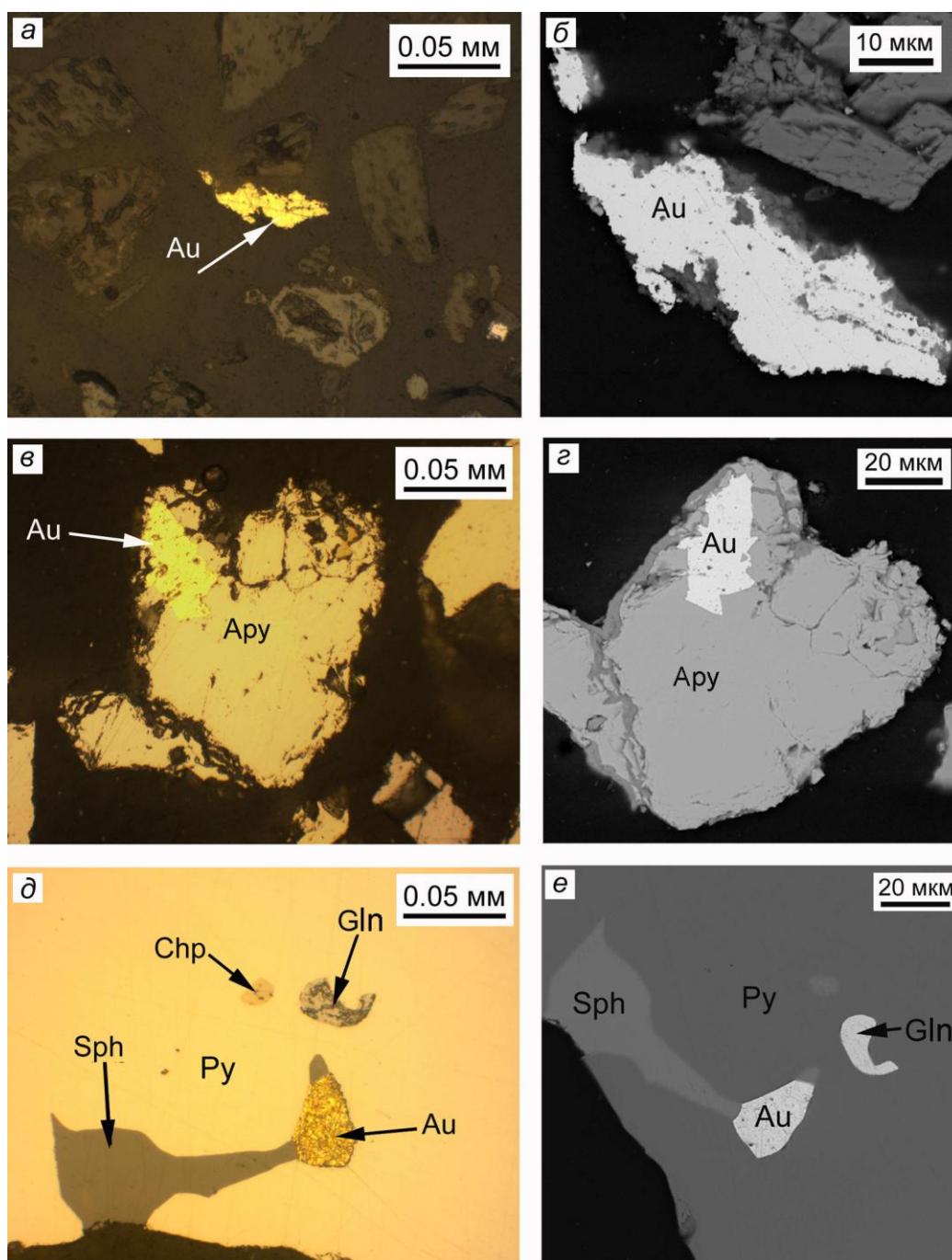


Рис. 3.3. Свободное золото (а–б) и включения золота в пирите и арсенопирите (в–е). Полированный брикет гравитационного концентрата. Слева – фото в отраженном свете, справа – на электронном микроскопе (Блинов И.А.). Минералы: Py – пирит, Chp – халькопирит, Sph – сфалерит, Apy – арсенопирит, Au – золото, Gln – галенит

Для лабораторной работы каждому студенту будет предложена одна фракция и изготовленный из нее полированный препарат.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Подготовить фракцию для просмотра в виде «дорожек».
2. Просмотреть дорожки и диагностировать входящие в нее минералы. При необходимости использовать качественные химические реакции и простейшие приёмы иммерсионных исследований (материал пройден в курсе шлихового анализа).
3. Провести количественный подсчет зерен минералов (не менее 500) статистическим методом, результаты записать.
4. Выделить и перенести золото в виде свободных зерен и сростков с другими минералами в отдельный пакет.
5. Охарактеризовать морфологию золотинок, записать результаты наблюдений.
6. Подготовить препарат гравитационного концентрата, освежить поверхность.
7. Смонтировать препарат гравитационного концентрата на предметный столик.
8. Уточнить размерность сечений зерен.
9. Определить минералы, размеры сечений зерен, охарактеризовать включения и сростки с разделением сростков на богатые ($> 70\%$), рядовые и бедные ($< 30\%$).
10. Подсчитать количество свободных зерен и сростков золота, соотнести их с количеством других минералов и результатами просмотра фракции под бинокулярным микроскопом. Провести подсчет зерен каждого минерального вида, всего не менее 500 зерен, при необходимости перед пересчетом в весовые проценты внести поправку на размерность.
11. Зафиксировать результаты наблюдений в таблице.

№ пробы	Свободные зерна			Сростки		
	Мин 1	Мин 2	Мин 1 + включ. Мин 2	Мин1 > Мин2	Мин1 + Мин2	Мин1 < Мин2
Количество зерен (шт.)						
Количество зерен (%)						

12. Детально охарактеризовать обнаруженные выделения золота.
13. Оформить отчет.

4. Лабораторная работа № 3

СОПОСТАВЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА СЫРЫХ И ОБОЖЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Цель работы: получение навыков применения оптико-микроскопических методов для оценки минерального состава и структуры продуктов переработки железных руд.

Оборудование: бинокляр, измерительная линейка, минераграфический поляризационный микроскоп, пресс для монтирования препарата, спирт и замша / кожа для удаления грязи с поверхности полированного препаратов, брикеты на основе эпоксидной смолы, справочник-определитель минералов в отраженном свете.

Необходимые навыки, усвоенные при изучении предшествующих курсов: представления об исходном составе железных руд, способам их обогащения, умение работать на поляризационном микроскопе, основы подхода к определению минералов в отраженном свете

4.1. Теоретическая часть

Железорудные окатыши изготавливаются из концентрата железных руд путем накатки в специальных барабанах. В качестве связывающего вещества в железорудные окатыши в небольшом количестве добавляются глина, известняк, силикатное стекло и другие компоненты. После накатки и классификации по размеру сырые окатыши подвергают высокотемпературному окислительному обжигу с целью получить плотные, твердые и механически устойчивые, однородные по составу и размеру в пределах выделенных гранулометрических классов зерна, пригодные к транспортировке и последующему пирометаллургическому переделу.

Сырые окатыши должны быть достаточно устойчивыми механически и внутренне однородными. После обжига важными показателями качества окатышей является наличие и характер пористости, трещиноватости, внутренняя однородность по минеральному составу.

Одним из прямых способов получения характеристик качества окатышей является оптико-микроскопическое изучение диаметрального среза. Пример препарата, изготовленного из сырого окатыша, и детали его внутреннего строения приведены на рис. 4.1. Пример обожженных окатышей, полученных из магнетитового и гематитового концентратов, и детали их внутреннего строения приведены на рис. 4.2 и 4.3.

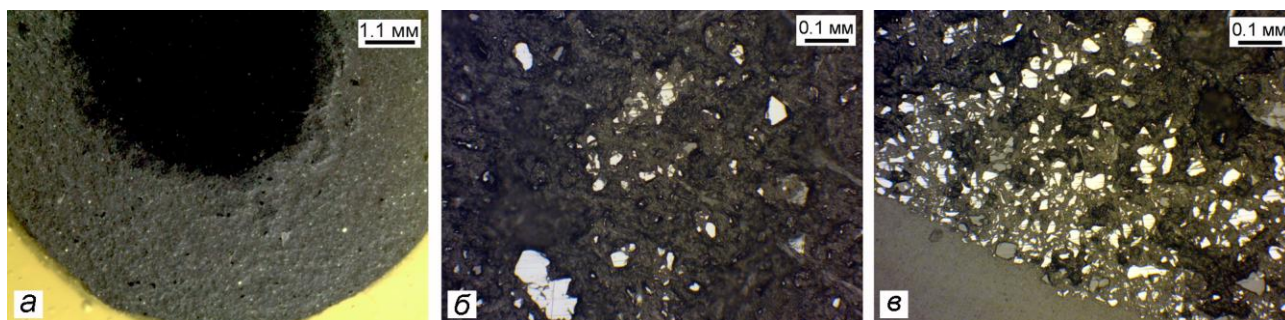


Рис. 4.1. Пример полированного препарата из сырого окатыша:

а – темная область в центральной части образца – эпоксидная смола; б – участок с рыхлой структурой и относительно равномерным распределением магнетита, нерудных минералов и пораи выкрашивания; в – участок вблизи поверхности окатыша с более плотным строением и мелким размером частичек магнетита и более мелкими пораи

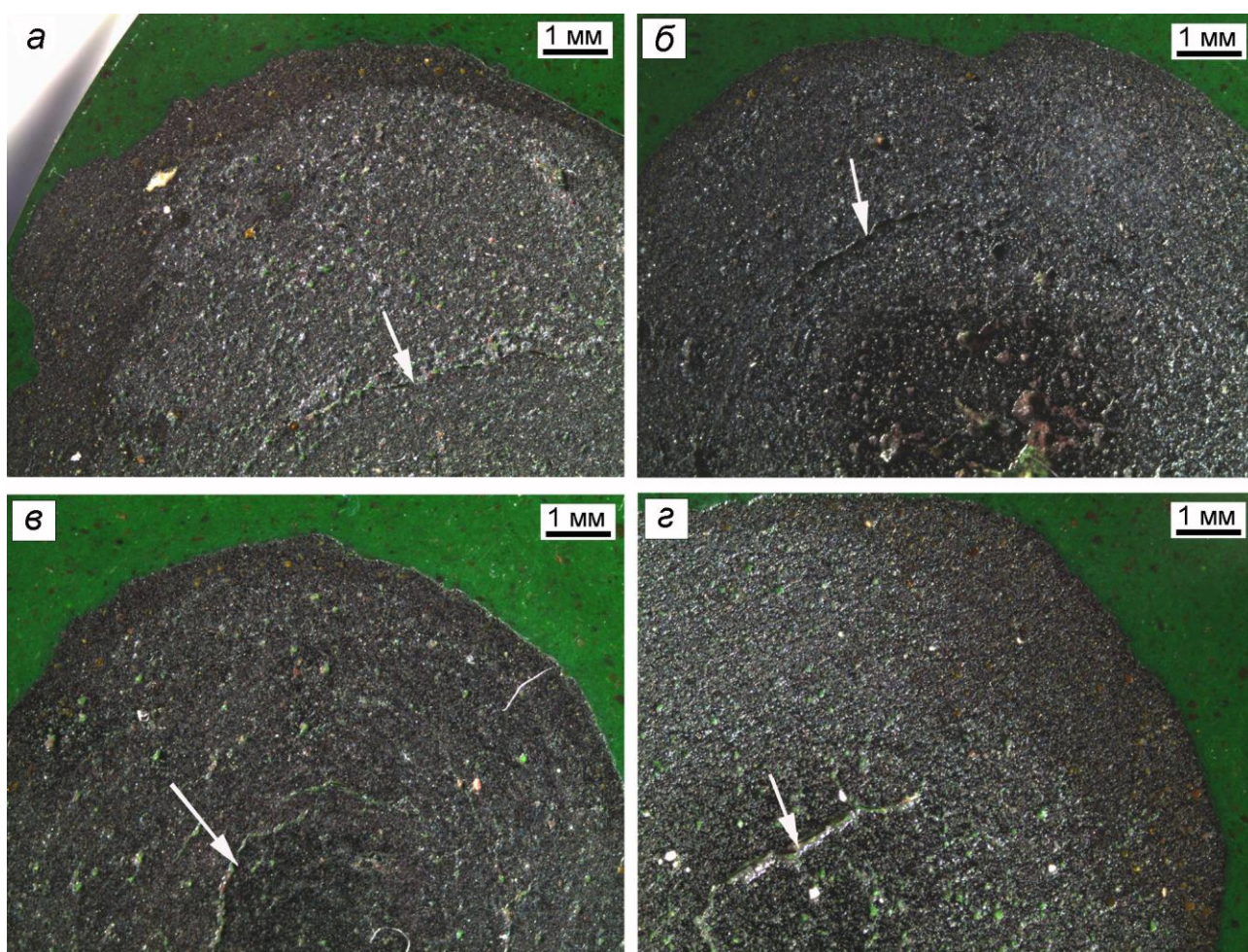


Рис. 4.2. Зональность обожженных окатышей, полученных из различного сырья:

а–б – различная зональность в обожженных окатышах, полученных из гематитового концентрата: более мощная внешняя зона (а), отчетливое ядро (б), стрелками показаны грубые радиальные трещины; в–г – зональность окатышей, полученных из магнетитового концентрата. Стрелками показаны концентрические трещины, оконтуривающие ядро (в) и радиальная трещина, рассекающая ядро (г)

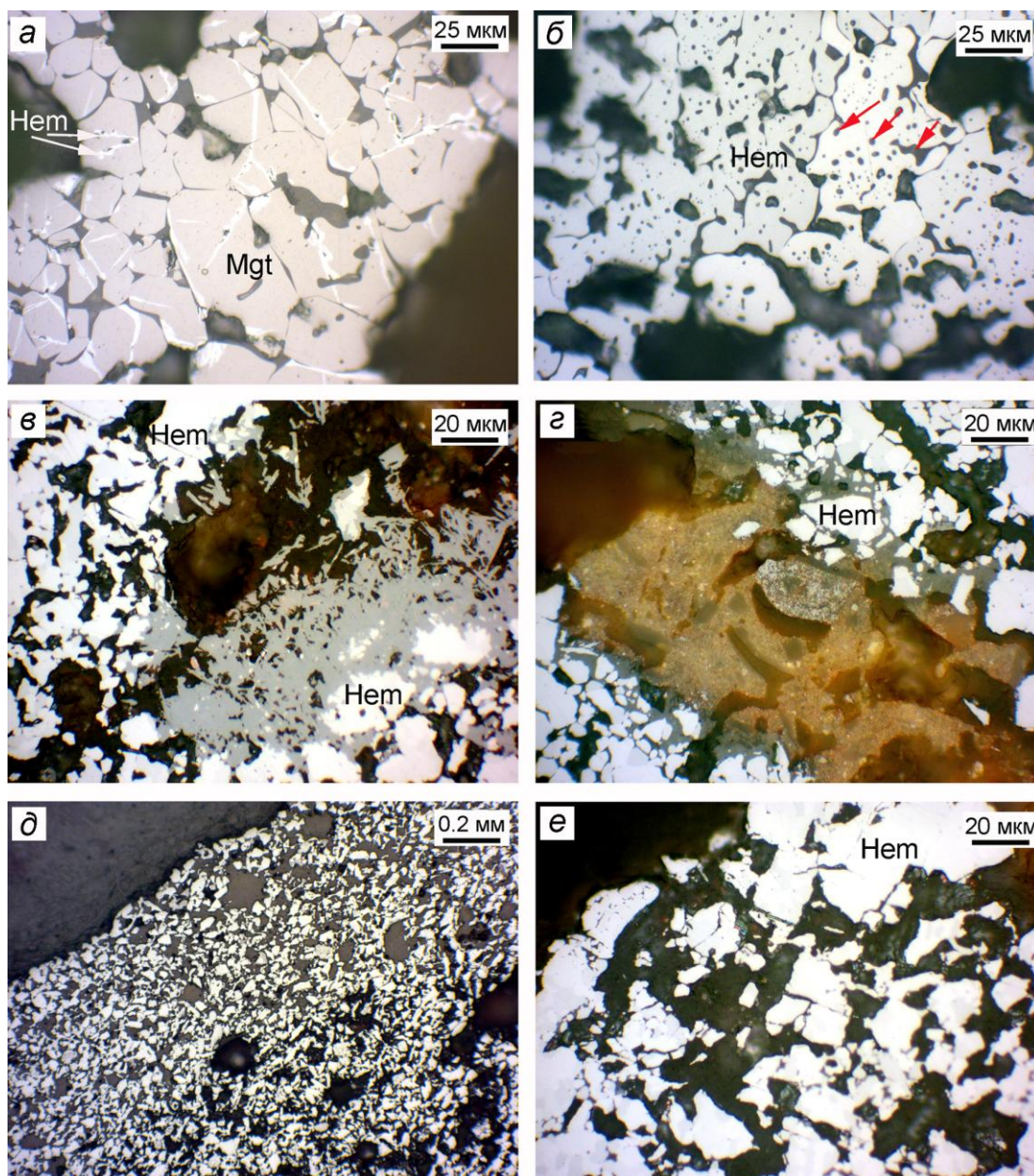


Рис. 4.3. Детали строения внутренних зон обожженных окатышей:

а – деталь строения ядра окатыша. Новообразованные эвгедральные и субгедральные кристаллы магнетита (Mgt) с тонкими пластинками гематита (Hem); б – деталь строения промежуточной зоны. Стрелками показаны включения силикатного стекла в гематите (Hem); в–г – детали строения основной зоны. Пластинчатые выделения клинопироксена вокруг поры (в) и раскристаллизация стекла (г) в агрегате гематита (Hem); д–е – детали строения плотной гематитовой каймы. Гематит (Hem), сохранивший обломочную структуру, цементируется силикатным стеклом. Видны реликты частичек силикатов.

4.2. Порядок выполнения работы

1. Подготовить препараты сырых и обожженных окатышей к работе, освежить поверхность.
2. При помощи бинокулярного микроскопа определить размер окатышей, качественно оценить их форму, выявить зональность, выявить грубые

нарушения целостности – трещины, поры выкрашивания. Оценить количество, форму и размер трещин, пор выкрашивания, количество зон и их мощность. Зафиксировать результаты наблюдений в таблице.

№ пробы	Трещины			Поры			Зоны		
	Положение	Форма	Размер	Положение	Форма	Размер	Наличие	Мощность	Схема

3. Смонтировать препарат на предметный столик при помощи пресса.

4. Определить минералы в каждой зоне, характер границ между зонами, размер и форму выделений, характер связующей массы. Уточнить геометрические параметры трещиноватости, пористости и зональности. Зафиксировать результаты наблюдений в таблице.

№ пробы	Мощность трещин от- до. Положение по отношению к зональности	Размер пор от-до	Количество зон и характер границ между ними	Минеральный состав выделенных зон с количественной оценкой
---------	--	------------------	---	--

5. Сопоставить структуру и минеральный состав сырых и обожженных окатышей. Сделать вывод о степени завершенности процессов обжига.

6. Оформить отчет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлинский, А.И. Разделение минералов / А.И. Берлинский. – М: Недра, 1988. – 176 с.
2. Джонс, М.П. Прикладная минералогия. Количественный подход / М.П. Джонс. – М.: Недра, 1991. – 391 с.
3. Изоитко, В.М. Технологическая минералогия и оценка руд / В.М. Изоитко. – Санкт-Петербург: Наука, 1997. – 532 с.
4. Справочник по обогащению руд. Основные процессы. – М: Недра, 1983. – 381 с.
5. Чвилёва, Т.Н. Справочник-определитель рудных минералов в отражённом свете / Т.Н. Чвилёва, М.С. Безсмертная, Э.М. Спиридонов и др. – М.: Недра, 1988. – 504 с.
6. Технологическая оценка минерального сырья. Опробование месторождений. Характеристика сырья: Справочник / под ред. П.Е. Остапенко. – М.: Недра, 1990. – 272 с.
7. Юшко, С.А. Методы лабораторного исследования руд / С.А. Юшко. – М.: Недра, 1966. – 320 с.

Рекомендуемая литература:

8. Вахромеев, С.А. Руководство по минераграфии / С.А. Вахромеев. – Иркутск: Иркутское книжное изд-во, 1956. – 264 с.
9. Глаголев, А.А. Геометрические методы количественного анализа агрегатов под микроскопом / А.А. Глаголев. – Львов: Госгеолиздат, 1941 г. – 264 с.
10. Сафина, Н.П. Микроскопические методы в исследовании руд: учебное пособие / Н.П. Сафина, К.А. Новоселов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 168 с.

Ресурсы интернета:

11. www.mindat.org