



Негосударственное частное образовательное учреждение
высшего образования
«Технический университет УГМК»

**ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО
ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО
МОДУЛЮ 3. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ В
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Направление подготовки	<i>22.04.02 Metallurgy</i>
Направленность (профиль)	<i>Обогащение и подготовка сырья к металлургической переработке</i>
Уровень высшего образования	<i>магистратура</i> <i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i>
Квалификация выпускника	<i>магистр</i>

Авторы-разработчики: Горбатова Е.А., д-р геол.-минерал. наук, доцент, Жуков В.П., д-р техн. наук, профессор
Рассмотрено на заседании кафедры обогащения полезных ископаемых.
Одобрено Методическим советом университета 18 октября 2021 г., протокол № 6

г. Верхняя Пышма
2021

Задания и методические указания для студентов по выполнению практических работ по модулю 3 " Материаловедение и технология материалов в горно-металлургической отрасли ".

Практические занятия являются формой аудиторных занятий. Практические работы по модулю имеют целью под руководством преподавателя на практике закрепление и углубление изученного материала и приобретение умений и навыков.

Студентам для лучшего усвоения материала рекомендуется вести запись информации, полученной во время обсуждения вопросов на практических занятиях.

Тематика практических работ

Текстурный анализ руд.

Кристалломорфологический анализ рудных минералов.

Гранулометрический анализ рудных минералов.

Структурный анализ руд.

Химический состав рудных минералов.

Определение количественного минерального состава руды по ее химическому и фазовому составам.

Определение количественного минерального состава руды линейным методом.

Анализ раскрываемости минералов руды.

Оценка сокращения расхода условного топлива в технологии переработки сульфидных концентратов методом взвешенной плавки

Расчет интегральной величины энергопотребления различных процессов

Практические работы по теме модуля: «Технологическая минералогия»

Практическая работа №1

Тема: Текстурный анализ руд.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Что такое текстура руды?
- Объясните, что Вы понимаете под минеральным агрегатом?
- Назовите основные формы минеральных агрегатов?
- Что такое первичные текстуры? Приведите примеры.
- Какие текстуры относятся к вторичным.
- Чем отличается брекчиевая текстура от брекчиевидной?
- Назовите текстуры, образующиеся в процессе метасоматического замещения пород и руд.
- Перечислите благоприятные текстуры для обогащения.
- Какие текстуры относятся к неблагоприятным текстурам для обогащения.
- На выбор каких технологических процессов влияют особенности текстуры руд.

Практическое задание: по 4 микрофотографиям руды определить морфологию минеральных агрегатов, определить текстуру и описать ее, обосновать значение текстуры для обогащения.

Теоретическая основа:

Текстура – строение руды, обусловленное формой, размерами и характером срастания минеральных агрегатов. Морфологическая единица текстуры - минеральный агрегат.

Форма минеральных агрегатов, определяющих морфологический тип текстуры: полоски, прослои и другие минеральные образования удлиненной формы; прожилки и дендриты; цемент; почки, оолиты, псевдооолиты, нодули и другие минеральные

образования округлой формы; органогенная; натечная; каемчатая; обломки; осколки; реликты, остатки, скелетная; каркасы; бесформенная, неопределенная.

В основе *генетической классификации* главнейших текстур лежит способ их формирования. Все текстуры делятся на первичные и вторичные.

Первичные – формы срастания минералов, образовавшиеся при отложении минерального вещества в определенных физико-химических и геологических условиях при формировании эндогенных и экзогенных месторождений полезных ископаемых.

Вторичные – формы срастания, образующиеся после образования руды в результате ее изменения в процессе дробления, смятия, выщелачивания и перекристаллизации.

В свою очередь первичные текстуры в зависимости от геологических и физико-химических условий формирования минеральных агрегатов подразделяются на четыре генетические группы: дифференциация магмы; седиментация и диагенез осадка; заполнения открытых пустот в породах и рудах; метасоматического замещения пород и руд.

I. Текстуры, образующие в процессе дифференциации магмы являются продуктом ее ликвации и кристаллизации. В этой генетической группе главнейшими морфологическими видами текстур являются: массивная, вкрапленная, пятнистая, нодулярная, полосчатая, псевдополосчатая, псевдослоистая, прожилковая, петельчатая, брекчиевая, брекчиевидная.

II. Текстуры, образующиеся в процессе седиментации и диагенеза осадка. В водных бассейнах (морях, лагунах, озерах, болотах и реках) минеральные агрегаты отлагаются из истинных и коллоидных растворов, содержащих также обломочный материал. В процессе осаждения из растворов выпадают кластические, кристаллические, коллоидные и органические осадки. Последние накапливаются на дне бассейна и подвергаются сложным диагенетическим изменениям. Поэтому минеральные агрегаты, слагающие осадки, с течением времени перекристаллизуются и переотлагаются.

Типоморфными текстурами в осадочных и гидротермально-осадочных месторождениях являются слоистая (тонкослоистая и грубослоистая), линзовидная и полосчатая. Помимо этих текстур, для различных генетических типов осадочных месторождений характерны определенные морфологические группы и виды текстур. Так, например, в механических осадках, образующихся при накоплении на дне бассейна кластического материала, широко развиты кластические текстуры. В химических осадках, представляющих собой отложения из истинных и коллоидных растворов, типоморфными являются слоистые, полосчатые, коллоидные и цементные текстуры. Для биохимических осадков, образующихся при накоплении и диагенезе органических остатков, характерны органогенные и унаследованные органогенные текстуры.

III. Текстуры, образующиеся в процессе заполнения открытых пустот в породах и рудах. Эпигенетические минеральные агрегаты заполняют разнообразные по форме и размерам пустоты в горных породах или рудах. Они образуются из газоводных растворов постмагматического происхождения, из подземных вод атмосферного происхождения и из метаморфических вод. Эпигенетические руды характеризуются большим разнообразием состава и строения. В открытых пустотах минералы и минеральные агрегаты отлагаются из растворов одновременно или в определенной последовательности. Для этой группы характерны следующие морфологические виды текстур: прожилковая, пересечения, сетчатая, брекчиевая, брекчиевидная, цементная, кокардовая, полосчатая, крустификационная, друзовая, колломорфная, пятнистая, вкрапленная, массивная.

IV. Текстуры, образующиеся в процессе метасоматического замещения пород и руд. Эпигенетические минеральные агрегаты разнообразного состава и строения отлагаются из растворов при метасоматическом замещении горных пород, руд и отдельных минералов. Особенно интенсивно замещаются карбонатные породы и сульфидные руды. Доказательством метасоматического замещения являются следующие особенности строения:

1) в метасоматических агрегатах развиты реликты замещаемых пород и минералов или метакристаллы и метазерна содержат химические элементы, заимствованные из замещаемых минералов. Реликты хорошо различаются под микроскопом;

2) границы между ранним (замещаемым) и поздним метасоматическими агрегатами обычно зазубренные;

3) метасоматические текстуры иногда являются унаследованными по первичным текстурам замещаемой породы или руды.

По форме различают три главных типа замещения: коррозионное, псевдоморфное и метакристаллическое. В метасоматических рудах обычно наблюдаются все формы замещения, проявленные с различной интенсивностью.

Генетические группы и морфологические виды «вторичных текстур». В зависимости от условий, в которых происходит изменение минерального агрегата, минерального зерна и коллоидного вещества, вторичные текстуры подразделяются на две генетические группы: I—выветривания; II — диагенеза и метаморфизма пород, руд и минералов.

I. Текстуры, образующиеся в процессе выветривания. В поверхностных условиях при действии агентов механического и химического выветривания горные породы и руды изменяют минеральный состав и строение. Такие изменения происходят в корах выветривания и в зонах окисления месторождений. Породы и руды при механическом выветривании растрескиваются, дробятся и превращаются в обломочные и порошокватые массы, состоящие из труднорастворимых минералов. При химическом выветривании в породах и рудах развиваются прожилки, каемки, сетка, решетка и другие формы гипергенных минералов, устойчивых в данных условиях (например, каемки, прожилки и сетка гидроксидов железа по пириту, каемки и решетка англезита и церуссита по галениту и т. д.). В результате выщелачивания легкорастворимых гипогенных минералов в рудах и породах формируются пустоты разнообразной формы и размеров, располагающиеся между агрегатами устойчивых минералов. Так образуется каркасное строение.

Главнейшие виды текстур в этой группе следующие: трещиноватая, обломочная, порошокватая, пористая, кавернозная, ячеистая, ящичная.

II. Текстуры, образующиеся в процессе диагенеза пород и руд. Явления диагенеза обусловлены изменением физико-химических условий среды, наступивших после отложения руды и не связанных с процессами выветривания и метаморфизма. В условиях диагенеза изменяются главным образом форма и строение минерального зерна и коллоидного вещества. При диагенезе образуются метаколлоидные текстуры вследствие раскристаллизации геля сульфидов, кремнезема, карбонатов и сульфатов в твердом состоянии. Морфологические виды метаколлоидных текстур следующие: оолитовая, почковидная, колломорфная, корковая, конкреционная и др. Метаколлоидные агрегаты характеризуются радиально-лучистой и волокнистой структурами.

Текстуры, образующиеся в процессе метаморфизма пород и руд. В этой группе объединяются такие вторичные текстуры, которые формируются в процессе изменения руды под воздействием высоких давлений и температуры, развивающихся при метаморфизме. Главным фактором, определяющим образование вторичных текстур в метаморфизованных рудах, является интенсивное направленное давление. При динамометаморфизме руды дробятся, сминаются и перекристаллизуются; происходит характерное изменение формы и строения минерального агрегата, минерального зерна и коллоидного вещества. Такие преобразования в рудах наблюдаются на тех участках месторождений, где развиты зоны рассланцевания и смятия, сдвиги, сбросы и надвиги.

Термический метаморфизм руд чаще всего обусловлен влиянием послерудных даек и интрузий, а также горячих растворов поздних стадий минерализации. Интенсивная перекристаллизация руды происходит при региональном метаморфизме.

При метаморфизме руды изменяется ее состав, образуются более устойчивые и простые минеральные виды (например, гидроксиды железа превращаются в гематит и магнетит и т. д.), а также новые минералы при перекристаллизации коллоидного вещества

(например, арсенопирит образуется из пирита, содержащего мышьяк), в результате преобразования минералов — при распаде твердых растворов (например, сфалерит, богатый железом, превращается в сфалерит и пирротин). Особенно сильно изменяется при перекристаллизации минеральный и химический состав руд, и пород осадочного генезиса, и в месторождениях выветривания (например, гётит переходит в магнетит и гематит, псиломелан — в якобит и браунит, гипс — в ангидрит, опал — в кварц и т. д.).

В этой группе распространены следующие морфологические виды вторичных текстур: брекчиевая, брекчиевидная, порошокватая, метаколлоидная, гнейсовидно-полосчатая, плейчатая, линзовидная, сланцеватая, трещиноватая, пятнистая, очковая и массивная. Из вторичных структур при метаморфизме широко развиваются катакластические и кристаллобластические.

Минеральные сростания, влияющие на традиционные процессы обогащения физическими методами, разделяют на две группы: первая группа — текстуры, благоприятные для обогащения; вторая — текстуры, неблагоприятные для обогащения.

Благоприятными текстурами руд называются такие формы сростания минералов, которые обуславливают максимальное извлечение промышленного минерала в зависимости от состояния, технологии обогащения на основе физических методов.

Текстуры, благоприятные для обогащения, объединяют сростания минеральных агрегатов, подразделяемых на группы: однородные, пятнистые, удлинённые, некоторые катакластические и кластические, редко коллоидные.

Руды с однородными текстурами — массивная и густовкрапленная, отлично обогащаются при условии, если в них отсутствуют тонкие сростания с непромышленными минералами и минералами носителями вредных примесей. Руды с неоднородным сростанием — пятнистой, удлинённой и катакластической текстурами — обогащаются хорошо и тем лучше, чем более прямые границы между минеральными агрегатами и чем крупнее их размеры. Например, в обогащении по крупности агрегатов различают руды с тонкой вкрапленностью промышленных минералов (менее 0,1 мм), мелко-вкрапленные (0,1—2 мм), крупновкрапленные (2—20 мм).

Благоприятны искусственно созданная при взрыве трещиноватость руды, представляющая собой агрегат минералов высокой прочности (например, железистый кварцит), и природная трещиноватая текстура. В первом случае возрастает дробимость и измельчаемость руды; во втором — ее необходимо проверять на измельчаемость.

Руды с коллоидными текстурами обогащаются с небольшими потерями в том случае, если промышленные минералы слагают крупные мономинеральные агрегаты с однородным строением, которые легко освобождаются от непромышленных минералов.

Неблагоприятные текстуры — это такие особенности сростания минералов, которые при обогащении влекут за собой большие потери промышленного минерала или не позволяют его отделить физическими методами. При тесном сростании минералов в концентраты выделяются непромышленные и вредные минералы; ценные минералы теряются в хвостах, что усложняет процесс обогащения.

Текстуры, неблагоприятные для обогащения руды, характеризуются сложной формой сростаний в руде, резко неравномерными и мелкими размерами и зазубренными границами мономинеральных агрегатов. В эту группу объединяются сложные по рисунку текстуры и микротекстуры: коллоидные и метаколлоидные, катакластические, цементные и др. Некоторые из них (коллоидные, метаколлоидные, цементные, коррозионные, катакластические, каркасные) могут быть благоприятными для процессов выщелачивания (химического и бактериального). Эти текстуры обуславливают повышенную неоднородность минерального состава, физических и химических свойств руды, пористость, переизмельчаемость, большую поверхность коррозионных границ — благоприятные для выщелачивания.

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками определения текстур;

- получение микрофотографий;
- определение морфологии минеральных агрегатов, определение текстуры;
- оформление полученных результатов в виде отчета и зарисовки текстуры в рабочей тетради.

Результатом успешного выполнения практического задания считается правильное определение морфологии минеральных агрегатов, определение текстур руд и описание их, установление значения текстур для обогащения.

Практическая работа №2

Тема: Кристалломорфологический анализ рудных минералов.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Что такое морфология?
- Что такое минеральный индивид?
- Перечислите основные формы минеральных индивидов.
- Приведите примеры идиоморфных форм.
- Охарактеризуйте колломорфное строение агрегата.
- Перечислите и опишите морфологию поверхностей срастания минералов.

Практическое задание: по 4 микрофотографиям определить морфологию минеральных индивидов, их границы срастания, описать морфологию.

Теоретическая основа:

Форма минеральных индивидов в агрегатах в зависимости от различий в условиях образования руд может быть самой разнообразной: идиоморфной, аллотриоморфной, гипидиоморфной, а также обломочной. Минералы могут быть представлены коллоидными образованиями, эмульсионной вкрапленностью и кластическим материалом: обломками, осколками, глиной трения.

1. Идиоморфными (изометричными, призматическими, игольчатыми и др.) называют зерна с очертаниями, характерными для кристаллографически ограненных выделений данного минерала, образовавшихся при кристаллизации из расплава или раствора. В случае формирования правильных кристаллов минералов в ходе перекристаллизации ранее выделившихся минеральных фаз их форму называют идиобластовой (идиобластической).

2. К аллотриоморфным или ксеноморфным (ксенобластовым для метаморфических процессов) относят зерна, форма которых полностью определяется конфигурацией соприкасающихся с ними других минералов.

Минеральные зерна, в очертаниях которых лишь частично проявлены их естественные кристаллографические формы, носят наименование гипидиоморфных (гипидиоморфнобластических в метаморфогенных рудах).

3. При участии в процессах рудообразования коллоидных систем отдельные минералы нередко выделяются в виде скоплений неправильной формы, образуют участки со сферическим, скорлуповатым или концентрически-зональным строением, формируют сложные натечные агрегаты колломорфного строения.

4. В результате катаклаза (дробления и смятия) руд под воздействием тектонических напряжений и подвижек минералы в зависимости от их механической прочности могут измельчаться до осколков различного размера или истираться до тонкодисперсного состояния, образуя глинку трения.

5. Морфологические особенности минеральных зерен, образующихся в результате химического и физического выветривания руд и горных пород, определяются как исходной формой соответствующих минералов, так и их химической и физической (механической) устойчивостью. Они могут сохранять очертания минералов исходной руды, приобретать округлые сглаженные формы в случае длительной транспортировки водными потоками, особенно при низкой абразивной устойчивости минерала, наконец, могут химически и физически разрушаться, уменьшаясь в размерах, приобретая неправильную форму с

границами извилистых очертаний. Минеральные зерна, окатанные или сглаженные в процессе перемещения поверхностными агентами (водные потоки, морской прибой, ледниковое перемещение, воздушный перенос), называют обломками, а их рыхлые агрегаты — песками.

Морфология поверхности срастания минералов может быть ровной, извилистой, бугристой, неровной, зазубренной, заливообразной и сложной.

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками определения морфологии минеральных индивидов и границ их срастания;
- получение микрофотографий;
- определение морфологии минеральных индивидов и границ их срастания;
- оформление полученных результатов в виде отчета и зарисовки минеральных индивидов в рабочей тетради.

Результатом успешного выполнения практического задания считается: правильное определение морфологии и границы их срастания минеральных индивидов руды и описание их.

Практическая работа №3

Тема: Гранулометрический анализ минеральных индивидов.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Что такое гранулярный состав?
- Как определяется гранулярный состав?

Практическое задание: по 4 микрофотографиям определение размеров минеральных агрегатов, статистическая обработка полученных результатов.

Теоретическая основа:

Главнейшие методы измерения размеров минеральных выделений — визуальный и микроскопический. Если минеральные выделения наблюдаются невооруженным глазом, то их размеры определяются непосредственным измерением с помощью линейки. Если минеральные выделения различаются с помощью лупы или микроскопа, то их размеры определяются под микроскопом. Наиболее простой прибор для измерения микроскопических выделений — окуляр-микрометр, или окуляр с линейкой.

Линейный метод. Шлиф передвигают по линиям, параллельным линейке окуляра, на каждой линии измеряют длину минеральных выделений, пересекаемых данной линией (рисунок 1). Линии пересечения располагаются друг от друга на определенном расстоянии, обычно равном 1 мм. Применяется горизонтальная, вертикальная и диагональная разбивка на линии. Существуют различные методики статистической обработки полученных величин. Обычно вычисляют максимальные, минимальные и средние размеры.

На микрофотографиях определение размеров минералов осуществляется линейным методом путем измерения длины и ширины (поперечником) зерен линейкой, чаще всего измеряют поперечник зерна. Цена деления линейки определяется путем ее пересчета относительно увеличения фотографии.

Линейку накладывают на фотографию и измеряют длину минеральных выделений, пересекаемых линейкой. Перемещение линейки параллельное.

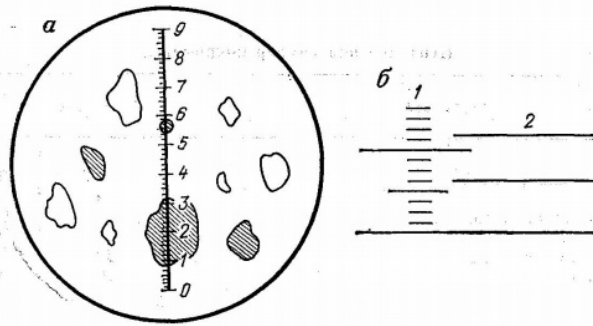


Рисунок 1 – Измерение и подсчет количества минеральных агрегатов и зерен в шлифе с помощью линейного окуляра микроскопа:
а – вид в окуляре; б – сравнение делений объективного (1) и окулярного (2) микрометров

Точечный метод. При перемещении шлифа вдоль измерительных линий через равные промежутки берут точки и отмечают, на каком минерале эти точки находятся. Общее число точек, попадающих на данный минерал, умножается на расстояние между точками и делится на число минеральных выделений; в результате получают средний размер минерального выделения.

Метод сравнения. Производится сравнение сечений минеральных выделений, зерен или частиц в поле зрения микроскопа со стандартным кругом, в котором при аналогичном увеличении нарисованы кружки определенных размеров (рисунок 2). Записывается количество объектов, площади которых соответствуют кружкам определенного диаметра. Затем аналогично подсчитывают другие поля, в шлифе, чтобы получить достаточные статистические данные. Метод сравнения является быстрым и точным, а результаты его близки к результатам седиментационного анализа.

Метод сравнения может применяться для оценки размеров минерального выделения в сравнении с радиусом поля зрения микроскопа. Для этого граница выделения помещается в центр поля зрения.

Для построения гранулометрических кривых можно использовать различные шкалы по распределению крупности. Кривые могут быть построены с определенным модулем изменчивости, или по принципу обогатительных шкал ситового отсева, или определены на основе статистической обработки серии фактически изученных фотографий, при этом необходимо обеспечить определенную точность полученных результатов.

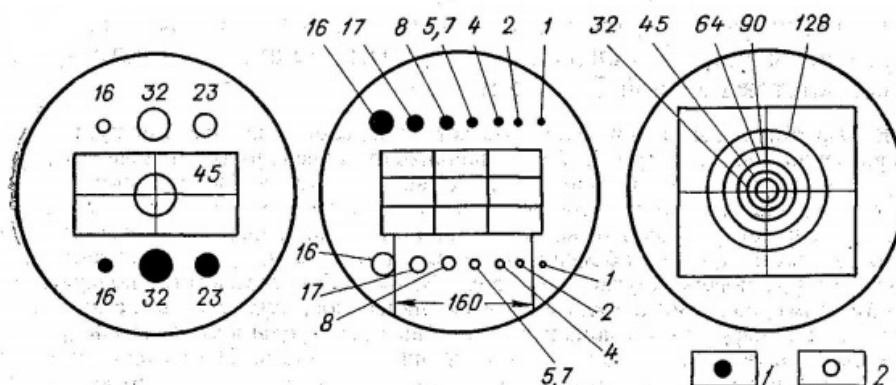


Рисунок 2 – Различный тип сеток для подсчета размеров минеральных агрегатов, зерен и частиц (диаметр кругов и частиц в мкм)
1-2 – минералы рудные (1) и нерудные (2)

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками измерения зерен минеральных индивидов;
- получение фотографий;
- измерение длин минеральных выделений;
- оформление результатов замеров в таблице 1;
- построение гранулометрической кривой распределения размеров зерен.

Таблица 1 – Размер зерен минералов в исследуемых рудах

Размер зерен, мм	Количество минералов, объем. %	Размер (мм) и количество (%) включений	
		размер, мм	количество, %

Результатом успешного выполнения практического задания считается: правильное определение гранулярного состава минеральных индивидов линейным методом, построение гранулометрических кривых.

Практическая работа №4

Тема: Структурный анализ руд.

Тема: Гранулометрический анализ минеральных индивидов.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Перечислите морфогенетические группы первичных структур.
- Какие структуры называются зернистыми?
- Перечислите коррозионные текстуры.
- Назовите особенности строения метазернистых структур.
- Какие структуры относятся ко вторичным?
- Перечислите морфологические виды структур распада твердых растворов.
- Назовите катакластические структуры.
- Благоприятные структуры для обогащения.
- Приведите пример неблагоприятных структур для обогащения.
- На выбор каких технологических процессов влияют особенности структуры руд.

Практическое задание: по 4 микрофотографиям определить морфологию минеральных индивидов, определить структуру и описать ее, обосновать значение структуры для обогащения.

Теоретическая основа:

Структура – строение минерального агрегата, обусловленное формой, размерами и характером срастания минеральных зерен или коллоидного вещества.

Морфологическая единица структуры – минеральное зерно, или минеральный индивид. Коллоидные агрегаты сложены скрытокристаллическими или аморфными частицами.

Структуры руд подразделяются на первичные и вторичные. Первичные структуры формируются при отложении минерального зерна и коллоидного вещества из расплавов и растворов в процессе дифференциации и кристаллизации магмы, седиментации и диагенеза осадка, заполнения пустот в породах и рудах, метасоматического замещения пород и руд. Вторичные структуры формируются при изменении минерального зерна и коллоидного вещества в процессе диагенеза и метаморфизма пород и руд, механического и химического выветривания.

Первичные структуры подразделяются на четыре морфогенетические группы: I — зернистые, II — коррозионные, III — мегазернистые, IV — коллоидные.

I. Зернистые структуры. Характеризуются сростками кристаллических зерен. При процессах кристаллизации образуются полнокристаллические равномернозернистые агрегаты с размерами зерен от 0,001 мм до нескольких сантиметров. В зависимости от величины кристаллических зерен различают крупно- средне- и мелкозернистые структуры. Эти структуры развиты в минеральных агрегатах, отложившихся при кристаллизации расплавов и растворов в магматических очагах, океанах, морских и озерных бассейнов, в открытых трещинах и полостях горных пород и руд. Форма кристаллических зерен идиоморфная, гипидиоморфная, скелетная и аллотриоморфная. Кристаллы ранее выделившихся минералов очень редко обладают правильной кристаллической формой.

В зависимости от формы, размера и характера сростания кристаллических зерен выделяются разнообразные морфологические виды зернистых структур. Если агрегат сложен идиоморфными и гипидиоморфными зёрнами, то его структура идиоморфнозернистая. Если почти все зёрна имеют аллотриоморфную форму, то структура агрегата аллотриоморфнозернистая.

Иногда агрегат сложен шестоватыми идиоморфными зёрнами; в полосках или друзах шестоватые зёрна расположены перпендикулярно к поверхности нарастания и заполняют пустоты частично или полностью. Структуру таких агрегатов называют гребенчатой. Иногда шестоватые или пластинчатые зёрна располагаются в виде лучей вокруг центра кристаллизации, в этом случае структура называется радиально-лучистой.

Сростания зерен различной степени идиоморфизма гипидиоморфнозернистую структуру. Разновидностью гипидиоморфнозернистой структуры является сидеронитовая. Она характеризуется сростанием идиоморфных зерен нерудных минералов с аллотриоморфными зёрнами рудных минералов. Границы выделившихся ранее минералов неровные, зазубренные. Для кристаллических агрегатов с зёрнами различной формы и величины характерны порфиоровидная и пойкилитовая структуры.

В порфиоровидной структуре крупные кристаллы являются ранними индивидами в агрегате мелких поздних аллотриоморфных зерен. В пойкилитовой структуре мелкие кристаллики представляют собой ранние образования внутри крупных аллотриоморфных зерен.

II. Коррозионные структуры. Образуются при разъедании кристаллов и зерен ранее выделившихся минералов остаточными расплавами и растворами, изменившими в процессе минералообразования химический состав, температуру и давление. Из остаточных растворов выделяются новые минералы, содержащие реликты и скелетные формы ранних минералов. По расположению остатков иногда можно восстановить размеры и форму первоначального зерна. При замещении аллотриоморфнозернистых мономинеральных агрегатов наблюдаются многочисленные реликты, располагающиеся в замещающем минерале вдоль границы разъедания. Как правило, идиоморфные зёрна труднее поддаются замещению, чем зёрна неправильной формы и раздробленные. Внутренние части кристаллов легче замещаются по сравнению с гранями. В некоторых случаях наблюдается избирательное замещение отдельных внутренних зон в кристалле. Коррозионные структуры в кристаллическом агрегате распространены подчиненно по сравнению с зернистыми. В группе коррозионных структур объединяются следующие морфологические виды: скелетная, реликтовая и разъедания.

Скелетная структура формируется при разъедании идиоморфных и гипидиоморфных зерен с образованием скелетных форм.

Реликтовая структура формируется при глубоком разъедании кристаллических зерен остаточными растворами.

Структура разъедания характеризуется зазубренными границами между ранними и поздними минералами данной ассоциации; образуется при незначительном разъедании.

III. **Метазернистые структуры.** Характеризуются сростками метакристаллов и метазерен, образовавшимися в процессе роста в твердой среде при метасоматическом замещении пород, руд и минералов.

Метакристаллы и метазерна отличаются зональным, секториальным, двойниковым и ситообразным строением. Зональное и ситообразное строение зерен является типоморфным для данной группы структур. Ситообразное строение метакристаллов и метазерен обусловлено включениями окружающих минералов, захваченных ими при росте. В мономинеральных агрегатах метакристаллы и метазерна часто имеют разные размеры (от сотых долей миллиметра до нескольких сантиметров) в результате различия условий кристаллизации при росте в неоднородной твердой среде. Структура метасоматических агрегатов неравномернометазернистая.

Среди метазернистых структур различают идиоморфнометазернистую, гребенчатую, радиально-лучистую, аллотриоморфнометазернистую, гипидиоморфнометазернистую, скелетную, порфирометазернистую. В метасоматических рудах наиболее широко распространены идиоморфнометазернистая, аллотриоморфнометазернистая и порфирометазернистая структуры.

Идиоморфнометазернистая структура наблюдается в минеральном агрегате, сложенном метакристаллами идиоморфной и гипидиоморфной форм. Метакристаллы имеют прямые границы без следов коррозии, ситообразное и зональное внутреннее строение. Разновидностями идиоморфнометазернистой структуры являются гребенчатая и радиально-лучистая метасоматического генезиса.

Аллотриоморфнометазернистая структура развита в минеральном агрегате, сложенном метазернами аллотриоморфной формы. Границы метазерен прямые и зубчатые, внутреннее строение ситообразное и зональное.

Гипидиоморфнометазернистая структура характеризует строение минерального агрегата, представляющего сростки метакристаллов и метазерен. Разновидностью этой структуры является скелетная метазернистая.

Порфирометазернистая структура наблюдается в минеральном агрегате, в котором метакристаллы или метазерна редко отличаются размерами.

IV. **Коллоидные структуры.** Встречаются в минеральных агрегатах сферической и фстончатой формы, сложенных мельчайшими частицами минералов от 0,002 до 0,0002 мм и менее. Форма коллоидных частиц различается в электронном микроскопе при увеличении в несколько тысяч раз. Агрегаты характеризуются аморфным строением и трещинками усыхания — радиальными и концентрически-зональными. Коллоидные структуры в агрегатах неустойчивые, подвергаются раскристаллизации и переходят в метаколлоидные. Среди коллоидных структур различают гелевую концентрически-зональную и перлитовую.

Вторичные структуры подразделяются на две морфогенетические группы: I — кристаллобластические; II — катакластические и кластические.

I. **Кристаллобластические структуры.** Характерны для таких минеральных агрегатов, в которых морфологической единицей являются кристаллобласты — минеральные зерна, образующиеся в процессе перекристаллизации и раскристаллизации минерального вещества в твердом состоянии. Кристаллобластические структуры — полнокристаллические; зерна в них наблюдаются под микроскопом или макроскопически. Они подразделяются на собственно кристаллобластические, метаколлоидные и распада твердых растворов.

В подгруппе кристаллобластических выделяются следующие морфологические виды структур: идиоморфнобластическая, скелетная, аллотриоморфнобластическая, или гранобластическая, гипидиоморфнобластическая, ориентированнобластическая и порфиробластическая.

Метаколлоидные структуры. Образуются при раскристаллизации геля в твердом состоянии. В коллоидных массах при их изменении возникают мелкие пустоты и поры, распределенные; незакономерно, иногда заполненные поздними минералами. В

метаколлоидных агрегатах сохраняются первичные формы: сферическая, колломорфно-полосчатая, а также иногда наблюдаются реликты концентрически-зонального строения, поры и трещинки усыхания. Морфологическими видами метаколлоидных структур являются радиально-лучистая и волокнистая.

Радиально-лучистая и волокнистая структуры формируются при раскristализации агрегатов сферической и колломорфно-полосчатой форм. В концентрически-зональных агрегатах бласты радиально-лучистой и волокнистой форм переходят из одной зоны в другую. В дальнейшем может происходить преобразование радиально-лучистых и волокнистых структур в гранобластические.

Структуры распада твердых растворов. Наблюдаются в сложных по составу минералах — твердых растворах, отложившихся при относительно высоких температурах из расплава или раствора. При понижении температуры твердые растворы становятся неустойчивыми и распадаются в твердом состоянии на более простые химические соединения. При распаде твердого раствора происходит миграция атомов до полного обособления минералов друг от друга. Границы между бластами минералов, возникающих при распаде, прямые. Главной особенностью структур распада твердых растворов является форма бластов, прямые границы и постоянные количественные соотношения между минералами. Морфологические виды структур в этой группе: эмульсионная, звездчатая, решетчатая, графическая, пламенивидная и петельчатая.

II. Катакластические и кластические структуры. Сложены классическими зернами — обломками минералов. Обломки кристаллических зерен, метазерен, бластозерен и коллоидного вещества образуются при динамометаморфизме и механическом выветривании. Под воздействием агентов метаморфизма и выветривания хрупкие и твердые минералы становятся трещиноватыми, дробятся на обломки различных форм и размеров, а пластичные минералы подвергаются смятию, что выражается в изменении формы зерен, ориентированном расположении трещин спайности и отдельности, двойниковых швов. Пластинчатые мягкие минералы расщепляются на более мелкие частицы или претерпевают вязкое течение и заполняют трещинки дробления в хрупких минералах с образованием мелких прожилков-просечек.

Катакластические структуры — вторичные. В этих структурах обломки разделены трещинками. Морфологические виды катакластических структур: раздробленная, гранокластическая, тонкокластическая, порфирукластическая, ориентированно-кластическая, ориентированнозернистая, смятия и расщепления.

Морфологические виды кластических структур: обломочная и разновидности ее — псефитовая, псаммитовая, алевролитовая и пелитовая.

Структура раздробленная, или дробления, наблюдается в агрегате зерен минералов, разбитых трещинами на остроугольные обломки. Если обломки более или менее одинаковы по размерам, такая структура называется гранокластической, если обломки разной величины — порфирукластической. Минеральные массы, сложенные мельчайшими обломками (меньше 0,01 мм), характеризуются тонкокластической структурой.

Структура ориентированнокластическая наблюдается в агрегате обломков линзовидной формы, которые вытянуты параллельно полосчатости или сланцеватости.

Структура смятия наблюдается в мономинеральных агрегатах мягких минералов (галенит, сфалерит, молибденит, халькопирит и др.). Признаки смятия — изогнутые трещинки спайности и двойниковые швы, возникновение полисинтетических двойников давления в зернах.

Структура расщепления наблюдается в смятых, развальцованных агрегатах волокнистых и пластинчатых минералов (молибдените, графите, слюде, хризотил-асбесте и др.). При одностороннем давлении зерна таких минералов легко разделяются по плоскостям совершенной спайности на все меньшие и меньшие индивиды — в десятые, сотые и тысячные доли миллиметра.

Среди кластических структур широко распространена обломочная. Обычно перемещенные обломки пород или руд скреплены цементом, отложившимся в момент их осаждения. Разновидностями обломочной структуры являются псефитовая, псаммитовая, алевролитовая и пелитовая. Все эти термины заимствованы из осадочной петрографии и впервые применены к рудам А. Г. Бетехтиным в 1937 и Л. В. Пустоваловым в 1940 г. Псефитовая структура характеризуется обломками размером от 1 до 100 мм и более; псаммитовая структура выделяется при размере обломков от 0,1 до 1 мм; алевролитовая — от 0,01 до 0,10 мм; пелитовая — при размере обломков менее 0,01 мм.

Благоприятными структурами руды называются такие формы срастания минералов, которые обуславливают максимальное извлечение промышленного минерала в зависимости от состояния, технологии обогащения на основе физических методов.

Благоприятными для обогащения являются зернистые и собственно кристаллобластические структуры. Это обычно равномернозернистые структуры. Очень большое значение для переработки руды имеют колебание размеров зерен рудообразующих минералов и их средняя величина. Поэтому принято руды разделять по крупности зерен на пять групп: 1) крупнозернистые с величиной зерен в диаметре более 2 мм; 2) среднезернистые — от 2 до 0,2 мм; 3) мелкозернистые — от 0,2 до 0,02 мм; 4) тонкозернистые — от 0,02 до 0,002 мм; 5) субмикроскопические и коллоидно-дисперсные с величиной частиц менее 0,002 мм.

Хорошо разделяются минералы в крупно-, средне- и мелкозернистых агрегатах, для которых характерны зернистые и собственно кристаллобластические структуры. Морфологический вид структур в этих группах не имеет значения при обогащении руды.

Благоприятными для обогащения являются зерна минералов с однородным внутренним строением и прямыми границами. Зерна однородного строения при структурном травлении протравливаются равномерно и в поляризованном свете угасают одновременно. Однородное строение наблюдается в зернах свободного роста, а также в кристаллобластах. Для последних такое строение наиболее характерно. Зерна удлиненной, пластинчатой и угловатой форм хорошо флотируются; изометричной формы (в равных условиях) — хуже.

Структуры неблагоприятные для обогащения, относятся к шести морфогенетическим группам: коррозионные, метазернистые, коллоидные, метаколлоидные, распада твердых растворов и катакластические). Это обычно неравномернозернистые, часто мелко- и тонкозернистые структуры.

Коррозионные структуры формируются в минеральном агрегате при растворении кристаллов, зерен или коллоидного вещества ранее выделившихся минералов неравновесными с ними растворами. В процессе коррозии изменяется облик зерен минералов. При разъедании идиоморфных и гипидиоморфных зерен образуются скелетные формы зерен, а при более глубоком замещении от кристаллов, зерен и коллоидного вещества остаются реликты. Характерными признаками коррозионных структур являются зазубренные границы между ранними и поздними минералами данной ассоциации. Эти структуры всегда имеют подчиненное распространение в руде.

Метазернистые структуры неблагоприятны для обогащения вследствие неравномерной зернистости агрегатов и ситообразного строения зерен. При переработке руд имеет место разубоживание концентратов за счет реликтов других минералов.

Коллоидные структуры принято выделять в колломорфных агрегатах сферической и фестончатой форм, сложенных мельчайшими частицами величиной от 0,002 до 0,0002 мм и менее. Выделения коллоидного вещества характеризуются порами и трещинами усыхания — радиальными, концентрическими и сетчатыми. Трещинки усыхания могут быть выполнены рудными или нерудными минералами, или быть пустыми. Поэтому руды с коллоидными структурами легко дробятся.

Метаколлоидные структуры образуются при раскристаллизации геля в твердом состоянии. В шариках, почках, фестонах, прожилках и полосках бласты имеют лучистую

или волокнистую форм- 92 му. При раскristализации коллоидного вещества образуются мелкие пустотки и поры, распределенные неравномерно, иногда выполненные поздними минералами. Руды с метакolloидными; структурами отличаются повышенной хрупкостью, легко дробятся.

Структуры распада твердых растворов характеризуют срastания двух минералов, которые обладают близкими кристаллохимическими свойствами. Морфологические виды» структур в этой группе: эмульсионная, пластинчатая, решетчатая графическая и др. Они неблагоприятны для обогащения, так как представляют собой тонкозернистые срastания минералов (тысячные доли миллиметра и менее). Закономерные срastания минералов в структурах распада характеризуются многочисленными границами раздела между тонкими выделениями: минерала — продукта распада и минералом - «хозяином». Такие сростки активно флотируются вследствие повышенной сорбционной способности границ раздела. Получается некондиционный концентрат, в котором теряется и разубоживает его минерал — продукт распада, например, в концентрате сфалерита остаются эмульсионные выделения халькопирита, в пирротине — пламенивидные и пластинчатые выделения пентландита.

Катакластические структуры характеризуются кластическими зернами — обломками и осколками, которые образуются при дроблении, расщеплении и смятии минералов под влиянием агентов динамометаморфизма или механического выветривания. Среди катакластических структур выделяются следующие морфологические виды: раздробленная, гранокластическая, тонкокластическая, порфирукластическая, ориентированнокластическая, смятия и расщепления. Такие структуры широко развиты в зонах дробления и смятия.

Обилие разнообразных трещин способствует переизмельчению, образованию пленок окисления, что затрудняет процесс обогащения. В зонах разломов образуются перетертые массы руды и породы (глинки трения), которые образуют шламы. Удельная поверхность таких перетертых масс резко возрастает, что обуславливает высокую сорбционную активность, приводящую к поглощению флотореагентов, и интенсивный ионный обмен, что резко- усложняет флотацию. Катакластические структуры в агрегатах неметаллических полезных ископаемых (пъезокварц, исландский шпат, оптический флюорит, драгоценные и поделочные камни и др.) значительно снижают их ценность или делают их непригодными к использованию в промышленности.

Неоднородное внутреннее строение зерен и коллоидного вещества неблагоприятно для обогащения. В зернах с неоднородным строением различаются трещинки спайности, зональность, двойники, поры, разнообразные твердые включения.

Спайность и трещиноватость, как и твердость, являются характеристиками дробления. Спайность представляет собой направление возможного растрескивания мономинерального агрегата или зерна, что обычно обнаруживается в процессе предварительных испытаний руды на обогатимость. Наличие спайности, как и трещиноватости, пористости, указывает на возможность переизмельчения руды. По направлениям спайности, порам и трещинкам проникают растворы и газы и может развиваться промышленное окисление при складировании руды и в процессе обогащения. Трещины характерны для хромита, магнетита, пирита и др.

Зональное строение зерен и концентрически-зональное строение коллоидного вещества неблагоприятны для обогащения, особенно для флотации. Зоны роста в зернах минералов имеют различные химический состав и строение и откладываются последовательно от центра к периферии. Зональное строение свидетельствует о физической и химической неоднородности минерального зерна. В почках и оолитах наблюдается концентрически-зональное строение роста, обусловленное концентрическим нарастанием аморфных и скрытокристаллических частиц коллоидного вещества вокруг (глинистых частиц или обломков. По зональности может быть развит другой минерал, затрудняющий обогащение, например, магнетит с зонально распределенным гематитом.

Двойниковое строение зерен может быть первичным — двойники роста и вторичным — двойники превращения и давления. Наиболее неблагоприятны для обогащения двойники давления, так как они способствуют переизмельчению руды. Двойники в зернах усложняют их флотацию, создавая неоднородность зерен, изменяя их поверхностные свойства.

Пористое строение зерен и коллоидных выделений обуславливает их неоднородность, увеличивает поверхностно-сорбционные свойства, что способствует развитию пленок окисления. Пористость индивидов вызывает их хрупкость, в результате чего возникает опасность переизмельчения.

Пленки и каемки окисления легко возникают на поверхности зерен и коллоидных агрегатов в случае их неоднородного строения, при воздействии окислителей в ходе как природных, так и промышленных процессов (при складировании руды, флотации и т. д.). Пленки окисления могут образоваться в процессе измельчения. Они настолько тонки, что их мощность составляет доли микрона. Размеры каемок окисления измеряются тысячными долями миллиметров.

Развитие процессов окисления способствует образованию тонких пленок-покрытий и каемок на минералах, что приводит к изменению (большей частью, ухудшению) их магнитных, флотационных и электрических свойств, например, каемки повеллита по молибдениту, каемки англезита по галениту и др. Обогащение легко окисляющихся руд должно регулярно контролироваться минералогическим анализом.

Твердые включения в зернах представлены реликтами, продуктами распада твердого раствора, пойкилитовыми зернами и вростками замещения. Они неблагоприятны для обогащения, так как обуславливают резко неоднородное строение зерен промышленных минералов. Получаются разубоженные концентраты (в случае включения реликтов непромышленных минералов) и коллективные концентраты (в случае включения ценных минералов). Нередко промышленный минерал теряется в отвальных хвостах.

Твердые включения в метакристаллах и метазернах, наблюдаемые под микроскопом в полированных шлифах, представляют собой остатки — реликты окружающих ранних минералов. Реликты придают полированной поверхности зерен ситообразное строение.

Эмульсионные включения, а также включения в форме пластинок и решеток могут образоваться в зернах в процессе распада твердых растворов. Такие формы срастания называются «структурами распада твердых растворов».

Крупные кристаллы одного минерала иногда характеризуются беспорядочными многочисленными включениями мелких зерен другого минерала, захваченного при кристаллизации растворов или при перекристаллизации вещества в твердом состоянии. Такое строение называется пойкилитовым.

Эмульсиевидные вростки образуются в процессе замещения одного минерала другим, при этом более поздний минерал развивается в виде мелких участков неправильной или округлой формы с зазубренными границами.

По результатам детальных исследований вещественного состава и строения составляется качественная характеристика руды в виде таблицы, в которой обобщаются следующие данные: 1) природный тип руды, разновидность природного типа; 2) рудообразующие минералы с указанием названия и формулы минерала. Выделяются по группам: рудные или основные промышленные минералы, минералы — носители полезных примесей, минералы — носители вредных примесей, нерудные минералы, потенциально промышленные; 3) содержание каждого минерала в руде (в %); 4) содержание ценного компонента в руде (в %); 5) примеси в руде — полезные и вредные; 6) форма мономинеральных агрегатов (выделений) и зерен минералов в руде — изометричная, удлиненная, неправильная (в %); 7) границы срастаний минералов — прямые и зазубренные (в %); 8) средние размеры мономинеральных выделений (в мм), распределение их по размерам (в %); 9) морфологические виды текстур, структур и внутреннее строение индивидов, благоприятные и неблагоприятные для технологической переработки.

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками определения структур;
- получение микрофотографий;
- определение морфологии минеральных индивидов, определение структуры;
- оформление полученных результатов в виде отчета и зарисовки структуры в рабочей тетради.

Результатом успешного выполнения практического задания считается: правильное определение морфологии минеральных индивидов, определение структур руд и описание их, установление значений этих структур для обогащения

Практическая работа №5

Тема: Химический состав минералов.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Что такое изоморфная примесь?
- Перечислите методы, позволяющие определить химический состав минералов?
- По степени совершенства какие типы изоморфизма выделяют?
- Что такое изовалентный изоморфизм.
- Как рассчитывается стехиометрическая формула минералов?

Практическое задание: по 6 микрофотографиям и результатам рентгеноспектрального анализа определить стехиометрическую формулу минерала и записать ее.

Теоретическая основа:

Результаты химических анализов выражаются в весовых процентах. Чтобы определить формулу минерала, весовые проценты нужно пересчитать в атомные количества. Для этого весовые проценты каждого элемента, определенные при анализе, делят на атомный вес этого элемента.

Структурная формула пирита выглядит как FeS_2 , и поэтому, чтобы результаты имели правильные соотношения, необходимо привести к единице мольную долю Fe, либо привести к двум мольную долю S.

В качестве простого примера приведем пересчет результатов рентгеноспектрального анализа образца пирита (таблица 2).

Таблица 2 - Пересчет результатов рентгеноспектрального анализа образца пирита

Элемент	Мас., %	Атомный вес	Атомные количества	Атомные соотношения при S=2
Fe	47,98	55,85	0,86	1,06
S	52,02	32,07	1,62	1,62=2

Полученная кристаллохимическая формула пирита – $Fe_{1,06}S_2$.

Расчет формул минералов, содержащих изоморфные примеси, показан на примере расчета формулы сфалерита.

Для сфалерита характерны примеси железа (таблица 3), поэтому отношение суммы атомных количеств металлов к сумме атомных количеств серы равно 1:1, что соответствует формуле ZnS .

Таблица 3 - Пересчет результатов рентгеноспектрального анализа образца сфалерита

Элемент	Мас., %	Атомный вес	Атомные количества	Атомные соотношения при S=1
Fe	2,18	55,85	0,04	0,04
Zn	67,13	65,37	1,02	1,07
Σ			1,06	1,11
S	30,69	32,07	0,95	0,95=1

Полученная кристаллохимическая формула пирита – $(Zn_{1,07}Fe_{0,04})_{1,11}S_{1,0}$.

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками расчета стехиометрических формул минералов по результатам рентгеноспектрального анализа;
- получение данных результатов рентгеноспектрального анализа;
- расчет формул минералов;
- оформление полученных результатов в виде таблицы (таблица 4) в рабочей тетради.

Таблица 4 - Пересчет результатов рентгеноспектрального анализа

№ пп	Элемент	Мас., %	Атомный вес	Атомные количества	Атомные соотношения	Стехиометрическая формула
1						
2						
3						

Результатом успешного выполнения практического задания считается: верный расчет стехиометрической формулы минералов по результатам рентгеноспектрального анализа.

Практическая работа №6

Тема: Определение количественного минерального состава руды по ее химическому и фазовому составам.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Какие методы определения количественного минерального состава руд Вы знаете?
- Охарактеризуйте любой метод определения количественного минерального состава руды.

Практическое задание: пересчет фазового состав руды по ее химическому составу

Теоретическая основа:

Рассмотрим порядок пересчета полного химического анализа по технологической пробе колчеданных руд с привлечением фазового определения меди (таблица 5).

Таблица 5 – Химический состав технологической пробы колчеданных руд

Компоненты	Содержание, %
$Cu_{общая}$	7,52
$Cu_{вторичная}$	4,75

Fe	41,75
S	49,35
Zn	1,68

Минералогическими исследованиями установлено, что в пробе содержатся следующие минералы: халькопирит, борнит, пирит и сфалерит.

Сначала определяются минералы, содержащие элементы в небольшом количестве. Цинк входит в состав сфалерита, содержащего цинка – 65,37% и серы – 32,07%. Если содержание цинка принять за единицу, то содержание серы можно определить умножением количества цинка на коэффициент 0,49 (коэффициент= $M_r(S)/M_r(Zn)$). Таким образом, содержание серы в пробе составляет:

$$S_{\text{сфалерита}} = Zn_{\text{анализа}} * 0,49 = 1,68 * 0,49 = 0,82\%$$

$$\text{Содержание пирита} = Zn + S_{\text{сфалерита}} = 1,68 + 0,82 = 2,5\%$$

Содержание борнита рассчитывается из данных фазового анализа следующим образом:

$$FeS_{4\text{борнита}} = Cu_{\text{вторичная}} * 0,58 = 4,75 * 0,58 = 2,75\%$$

$$\text{содержание железа} = FeS_{4\text{борнита}} * 0,3 = 0,82\%$$

$$\text{содержание серы} = FeS_{4\text{борнита}} * 0,7 = 1,93\%$$

где 0,58, 0,3 и 0,7 – коэффициенты, определенные из расчета стехиометрического состава борнита.

$$\text{Содержание борнита} = Cu_{\text{вторичная}} + Fe + S = 7,5\%$$

Содержание халькопирита рассчитывается аналогично борниту по меди, предварительно определив ее содержание ($Cu_{\text{общая}} - Cu_{\text{вторичная}} = Cu_{\text{первичная}}$), и составляет 8%.

Расчет пирита:

$$Fe_{\text{пирита}} = Fe_{\text{анализ}} - Fe_{\text{халькопирита}} - Fe_{\text{борнита}} = 41,45 - 2,44 - 0,82 = 38,19\%$$

$$S_{\text{пирита}} = S_{\text{анализ}} - S_{\text{халькопирита}} - S_{\text{борнита}} - S_{\text{сфалерита}} = 49,35 - 2,79 - 1,93 - 0,82 = 43,81\%$$

$$\text{Содержание пирита} = Fe_{\text{пирита}} + S_{\text{пирита}} = 38,19 + 43,81 = 82\%$$

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками расчета фазового состава руды по результатам химического и фазового анализов;
- получение данных результатов химического и фазового анализов;
- расчет фазового состава руды;
- оформление расчетов в рабочей тетради.

Результатом успешного выполнения практического задания считается: правильный расчет количественного минерального состава руды по ее химическому и фазовому составам.

Практическая работа №7

Тема: Определение количественного минерального состава руды линейным методом.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Охарактеризуйте площадной метод.
- Опишите линейный метод.
- В чем заключается метод сравнения.
- Как рассчитываются массовые проценты содержания минералов?

Практическое задание: определение линейных размеров минералов, их объемное и массовое содержания.

Теоретическая основа:

Методы определения количественного минерального состава руд. Для качественной характеристики руды определяют количество рудообразующих минералов. Данные о количественном минеральном составе руды получают планиметрическим, линейным, точечным и другими методами. Для получения достоверных результатов необходимо

подсчитать до 1000 зерен в аншлифах руды и 400—500 — в аншлифах из дробленого материала.

Линейный метод проще планиметрического и не уступает ему в точности, поэтому в практике он применяется чаще. Быстрая оценка количества минералов в руде производится методом сравнения. Измерения, в зависимости от размера мономинеральных выделений и зерен, выполняются визуально в образцах и аншлифах с точностью ± 5 —10 % и под микроскопом в аншлифах с точностью до 1—1,5%.

Точность количественного минералогического анализа руд в первую очередь определяется систематическим и представительным отбором образцов для изготовления шлифов. Чем больше количество изученных шлифов, тем точнее количественные минералогические анализы руд.

Для количественного минералогического анализа следует готовить безрельефные аншлифы, свободные от пустот и трещин. В таких шлифах лучше сохраняются и легче определяются мелкие минеральные включения, каемки, микропрожилки.

Планиметрический, или площадной, метод. Этот метод основан на положении, что количественные отношения между площадями минералов в аншлифе равны отношениям объемов этих минералов. В шлифе измеряют площади каждого минерала с помощью сетчатого окуляр-микрометра Гюйгенса. Каждая сторона квадратной сетки имеет по 20 делений (или 400 клеток).

Если в руде минералы распределены неравномерно, то измерению подвергается вся площадь шлифа, а если равномерно, то в шлифе выбирают для измерения квадратное поле в 1—2 см², которое рекомендуется обвести тушью. Для измерений под микроскопом применяется окуляр-микрометр Гюйгенса с сеткой; для макроскопических подсчетов в образце одна из ровных сторон его покрывается сеткой, нанесенной цветным карандашом или тушью, размер клеток которой 5—10 мм.

Линейный метод основан на том, что отношения площадей, занимаемых отдельными сечениями минералов в плоскости аншлифа (на микрофотографии), приравниваются к отношению длин линий, пересекающих эти сечения. Разбивка на линии может быть горизонтальная, вертикальная и диагональная. Подсчеты этим методом осуществляются с помощью окуляр-микрометра или линейки. Подсчет в шлифе производится по параллельным измерительным линиям, которые строят друг от друга на расстоянии, равном среднему поперечному сечению мономинерального выделения или зерна. При определении размера среднего сечения выделений или зерен принимают во внимание главные рудные минералы.

Цена деления линейки определяется путем ее пересчета относительно увеличения фотографии.

На каждой линии замеряют длину минеральных выделений, пересекаемых линией. В таблице 6 даны результаты подсчета содержания минералов линейным методом.

Таблица 6 – Содержание минералов медно-никелевых руд по поперечным сечениям (Е.Л. Афанасьева, М.П. Исаенко, 1988)

Минерал	Общая длина сечений l, мм	Объемное содержание минерала V, %	Плотность δ , г/см ³	Массовое содержание минерала β , %
Пирротин	1848	60,4	4,7	66,8
Халькопирит	256	5,1	4,2	4,9
Пентландит	102	3,4	4,8	3,8
Магнетит	48	1,6	5,2	1,9
Пироксен	904	29,2	3,3	22,6

Объемное и массовое содержания минерала на фотографии определяются как:

$$V=l_1*100\% / (l_1+ l_2+ l_3+....+ l_n)=(l_1/\sum l_n)*100\%;$$

$$\beta=(l_1\delta_1 / \sum l_n\delta_n)*100\%;$$

где l_n – длина отрезка минерала, δ_n – плотность минерала руды.

Метод сравнения. При подсчете этим методом относительное количество минералов в полированном шлифе определяется визуальным сравнением с эталонными кружками (рисунок 3). Сравнивая, находят подходящий эталон и таким образом устанавливают количество минералов в шлифе. Среднее содержание в шлифе минералов определяется по результатам сравнения с эталонами всей площади шлифа (9—12 полей). Рассматриваемый метод может быть полезен для начинающих исследователей, которые обычно завышают величину содержания минералов в руде, особенно когда это содержание низкое (1—5%).

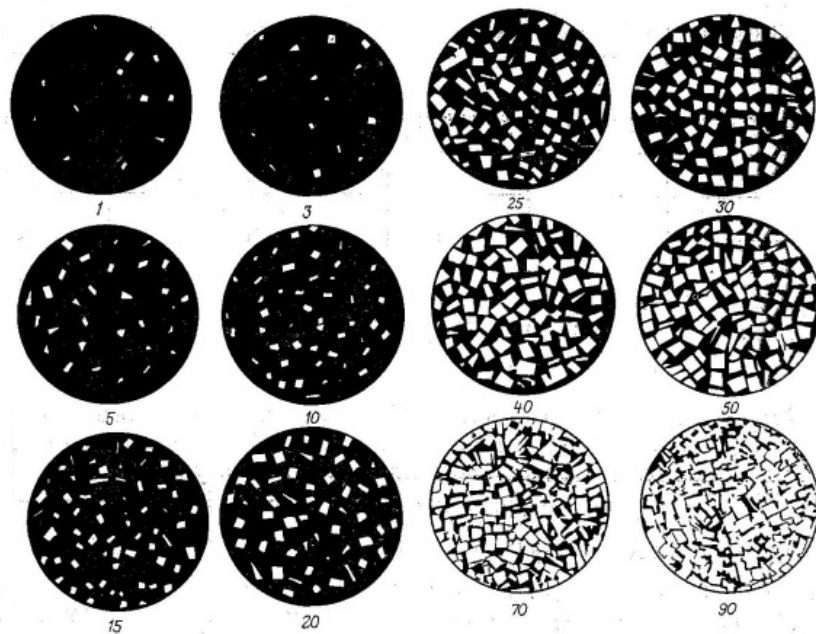


Рисунок 3 – Набор стандартных кружков для сравнительного визуального определения количества минералов. По С.А. Вахрамееву

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками определения фазового состава руды по микрофотографиям;
- получение микрофотографий;
- определение цены деления линейки;
- измерение длин минеральных выделений;
- определение массового содержания минерала;
- оформление расчетов в виде таблицы (таблица 7) в рабочей тетради.

Результатом успешного выполнения практического задания считается: правильное определение размера минеральных индивидов линейным методом, расчет объемных и массовых процентов их содержания

Таблица 7 – Содержание минералов руд по поперечным сечениям

Минерал	Общая длина сечений l , мм	Объемное содержание минерала V , %	Плотность δ , г/см ³	Массовое содержание минерала β , %

Практическая работа №8

Тема: Анализ раскрываемости минералов.

Тип практического задания – аналитическая работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- Охарактеризуйте линейный метод.
- Что такое свободные зерна?
- Как считается объемный процент содержания свободных зерен и минеральных сростков?

Практическое задание: определение линейных размеров свободных зерен и минеральных сростков по фракциям, установление содержания рудных минералов в сростках; расчет объемного и массового содержания свободных зерен и минеральных сростков.

Теоретическая основа:

Предварительно измельченную пробу руды просеивают через стандартный набор сит. Каждая фракция взвешивается и вычисляется ее процентное содержание по отношению к массе исходной руды.

Подсчет количества минеральных сростков и свободных зерен каждой фракции проводится линейным методом. На микрофотографиях каждой фракции определяется размер мономинеральных зерен и минеральных сростков разного минерального состава и количественное соотношение минералов в сростках.

По содержанию рудного минерала сростки подразделяются на: богатые – 71 – 99 %; рядовые – 31 – 71 %; бедные – 6 – 31 %; примазки и включения – 0 – 5 %.

Объемное и массовое содержания свободных зерен и минеральных сростков на микрофотографии определяются как:

$$V = l_1 * 100\% / (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) = (l_1 / \sum l_n) * 100\%;$$
$$\beta = (l_1 \delta_1 / \sum l_n \delta_n) * 100\%;$$

где l_n – длина отрезка минерала, δ_n – плотность минерала руды.

Необходимо отметить, что при подсчете массового содержания (в %) сростков в пробе количество сростков данного типа умножается на плотность сростка, вычисленную пропорционально плотностям минералов.

Порядок выполнения работы:

- знакомство с практическими навыками определения анализа раскрываемости минералов руды по микрофотографиям;
- получение микрофотографий;
- определение цены деления линейки;
- измерение длин минеральных выделений;
- анализ минеральных сростков по содержанию рудных минералов;
- определение массового содержания свободных зерен и минеральных агрегатов;
- оформление расчетов в виде таблицы (таблица 9) в рабочей тетради.

Результатом успешного выполнения практического задания считается:

правильное определение размера свободных зерен и минеральных сростков разных фракций линейным методом, расчет объемных и массовых процентов их содержания по фракциям

Таблица 9 – Раскрываемость минерала (название минерала)

Класс, мм	Выход класса, %	Свободные зерна, %	Минеральные сростки, %															
			Название				Название				Название				Название			
			богатые	рядовые	бедные	примазки	богатые	рядовые	бедные	примазки	богатые	рядовые	бедные	примазки	богатые	рядовые	бедные	примазки

Практические работы по теме модуля: «Современные проблемы металлургии и материаловедения»

Практическая работа № 1

Оценка сокращения расхода условного топлива в технологии переработки сульфидных концентратов методом взвешенной плавки

Тип практического задания - расчетная работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- особенности плавки во взвешенном состоянии;
- за счет чего протекает плавка;
- температурные режимы при методе взвешенной плавки;

Практическое задание: на основе исходных данных:

- составление материального баланса – расчет состава шихты для плавки;
- расчет теплового баланса плавки медного концентрата;
- расчет расхода условного топлива;
- сравнительный анализ топливно-энергетических ресурсов;
- сделать вывод.

Результатом успешного выполнения практического задания считается умение студента использовать математический аппарат с целью оценки термодинамических расчетов для определения условий технологического режима (температура, давление кислорода и серы в системе) и способность готовить предложения для принятия обоснованного решения.

Практическая работа № 2

Расчет интегральной величины энергопотребления различных процессов

Тип практического задания - расчетная работа

Устные вопросы по теме практического задания:

- основные пирометаллургические процессы;
- особенности, достоинства, недостатки;
- из чего состоит интегральный показатель расхода топливно-энергетических ресурсов.

Практическое задание: на основе исходных данных:

- выбор нескольких (всех, по заданию преподавателя) пирометаллургических процессов;
- выбор содержания металла в концентрате, штейне;
- определение (расчет) величин энергозатрат для выбранных металлургических процессов;
- расчет интегральной величины энергопотребления выбранных процессов;
- оценка экономии сырьевых ресурсов величинами максимального извлечения металла в конечную продукцию;
- сделать вывод.

Результатом успешного выполнения практического задания считается умение студента использовать математический аппарат с целью оценки интегральной величины энергопотребления различных металлургических процессов, и способность готовить предложения для принятия обоснованного решения.