

Томский ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени  
государственный университет им. В.В. Куйбышева

**В.Г. Родыгина**

**НАЧАЛА МИНЕРАГРАФИИ**

**Учебное пособие**

Под редакцией кандидата геолого-минералогических наук  
Ю.В. Индукаева

Издательство Томского университета  
Томск – 1990

УДК 553.08

Родыгина В.Г. Начала минераграфии: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та.– 175с. –30к. 500экз. 180402С200

Излагаются основные сведения по минераграфии. Приводятся описание рудного микроскопа, ход лучей. Дана схема изготовления аншлифа. Охарактеризованы основные диагностические признаки рудных минералов. Особое внимание уделено структурам руд. Самостоятельный раздел посвящен минеральным ассоциациям некоторых распространенных типов

В методических указаниях даны вопросы для самоконтроля. На примерах показано значение структурно-текстурного анализа при установлении порядка выделения минералов.

Приведена таблица основных свойств распространенных и некоторых редких минералов.

Для студентов геологических специальностей вузов как руководство к лабораторным занятиям по курсу "Минераграфия».

Рецензент: кандидат геолого-минералогических наук  
В.Н.Сергеев

JSBN5 – 7511 – 0065 – 4

Р ————— 56 – 90



Родыгина В.Л., 1990

## ВВЕДЕНИЕ

МИНЕРАГРАФИЯ является одной из составных частей науки о рудных месторождениях, представляя собой метод микроскопического исследования в отраженном свете полированных образцов рудных непрозрачных и полупрозрачных минералов. Этот метод применяется также для изучения каменного угля. Дословно минераграфия означает описание руды (*minera* – руда, *grapho* – пишу), в отличие от оптической петрографии, занимающейся изучением горных пород.

В задачу минераграфии входят: всестороннее описание металлических руд – от макроскопического определения состава и строения (текстуры) до микроскопического определения и полного описания минералов и их взаимоотношений (структуры); установление парагенетических ассоциаций и порядка выделения рудных и нерудных минералов; изучение онтогении и анатомии минералов и агрегатов. Велика роль минераграфии в решении технологических задач, в частности в выборе метода обогащения руды и его контроля: изучение состава концентратов, хвостов (Афанасьева, Исаенко, 1988). В настоящее время минераграфия нашла применение также и в технической минералогии.

Минераграфия заимствовала методику изучения руд из металлографии, которая как наука зародилась в середине прошлого столетия. Первые сведения по микроскопическому изучению руд в русской литературе появились в конце прошлого века (Е.Д. Стратонович и Е.С. Федоров). Первые учебники и руководства по минераграфии в нашей стране изданы в 30-е годы текущего века. Среди них наиболее известны работы Ф.И. Абрамова, А.Г. Бетехтина и Л.В. Радугиной, И.Ф. Григорьева, С.А. Юшко, С.А. Вахромеева, И.С. Волынского, Ф.Н. Шахова и др. В этих работах дана методика микроскопического изучения руд и микрохимического анализа, приведены диагностические свойства рудных минералов в отраженном свете и др.

Из зарубежных исследователей в развитие минераграфии большой вклад внесли У. Кемпбелл, К.У. Найт, У.М. Дэви, М.Н. Шорт, И.С. Сэмпсон, Г. Шнейдерхён, Ж. Орсель, Ф.И. Райт, М. Берек, П. Рамдор и др.

Минераграфия – молодой, не достигший еще своего полного совершенства метод, хотя становлению его предшествовали многолетние (почти полувековые) исследования. Диагностика рудных минералов основана на кристаллооптике отраженного света, которая гораздо сложнее кристаллооптики проходящего света. Изучение руд в отраженном свете сводится к изучению взаимодействия света и вещества, имеющих сложную природу. Взаимодействие первичных световых волн с электрически заряженными частицами вещества – ионами и электронами приводит к образованию вторичной волны той же частоты, испускаемой веществом при возбуждении. Вторичные и первичные волны могут интерферировать, обуславливая явления отражения, преломления, рассеяния.

При работе в отраженном свете пока еще используется меньше данных, чем в проходящем свете (ограничены сведения в сходящемся свете, при скрещенных николях и др.) и, следовательно, получается меньше информации, характеризующей оптические свойства рудных минералов. Если еще учесть, что к объектам исследования в отраженном свете (аншлифам или полированным шлифам) предъявляются более высокие требования, чем к объектам для исследования в проходящем свете (шлифам), а также трудности изготовления полированных образцов, то очевидна сложность и трудоемкость минераграфического метода. Переход от качественных наблюдений оптических свойств рудных минералов к их количественной характеристике в настоящее время выводит минераграфию на более высокую ступень развития (Определение рудных минералов, 1973; Безсмертнова, Чвилева, 1976; Чвилева и др., 1977; Диагностика и диагно-

стические свойства минералов, 1981 и др.). Вместе с тем, как отмечают многие исследователи, никакие точные приборы не смогут заменить глаз наблюдателя, который остается самым совершенным оптическим инструментом.

Учебное пособие представляется как итог многолетнего преподавания автором курса минераграфии на кафедре минералогии и кристаллографии Томского университета. Цель пособия – познакомить студентов вузов заочного обучения с основами метода, его приемами и возможностями. Автор благодарит сотрудников кафедры, и всех, оказавших содействие в работе над данным пособием.

## 1. РУДНЫЙ МИКРОСКОП

В рудном микроскопе изображение создается лучами, отраженными от полированной поверхности непрозрачного объекта, т.е. исследования проводятся в отраженном свете в отличие от петрографического микроскопа, в котором изображение создается лучами, проходящими через прозрачный объект, и все исследования проводятся в проходящем свете. В минераграфической практике используются рудные микроскопы отечественного производства МИН-6, МИН-9 (рис 1), ПОЛАМ Р-311, ПОЛАМ Р-312.

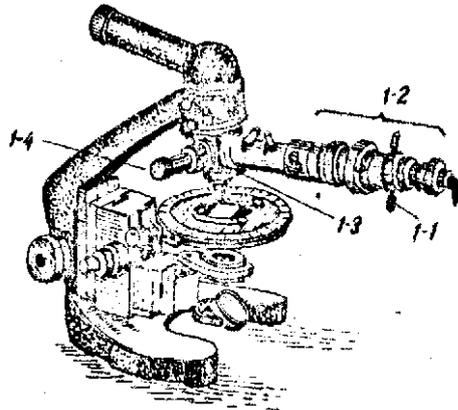


Рис.1 Рудный микроскоп МИН-9

### 1.1 Устройство рудного микроскопа

Рудный микроскоп состоит из следующих частей (рис.2):

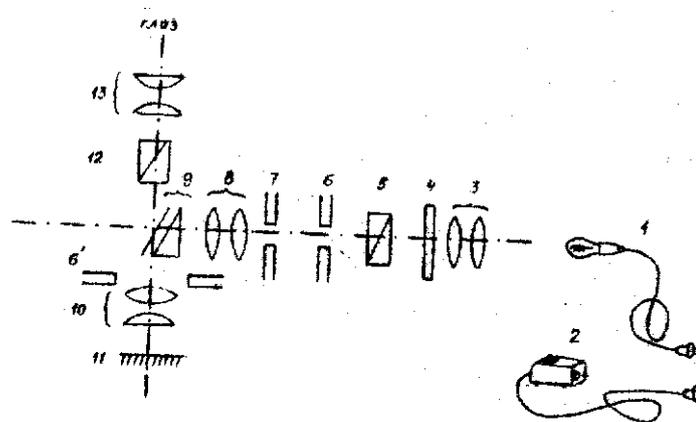


Рис.2 Схема строения рудного микроскопа

1 – Источник света, лампочка накаливания. Спираль очень плотно закручена «в точку» для придания лучам большей яркости и параллельности. Патрон свободно качается на оси и с помощью винтов (см. рис. 1–1), которые закрепляют лампочку, возможна центровка света. Тип лампочки – световая централизованная (СЦ), точечная, низковольтная (8В), 9 Вт, с шаровой колбой и винтовым патроном.

2 – Понижающий трансформатор с реостатом.

3 – Линзы стеклянные обыкновенные: коллекторные – собирают световые лучи в конус; конденсорная – служит для увеличения угла конуса света, выходящего из коллекторных линз.

4 – Светофильтры: синий применяется с целью приблизить желтый свет, идущий от лампочки, к дневному; нейтральные абсорбционные фильтры из поглощающего стекла используются для уменьшения интенсивности света; оранжевый и других цветов фильтры применяются для специальных исследований и при микрофотографировании.

Внешняя часть горизонтального тубуса опак-иллюминатора (см. рис. 1–2), состоящая из лампочки, коллекторных и конденсорной линз, светофильтров называется осветителем связанным, зависимым (ОИ–8). С помощью винта осветитель крепится на горизонтальной трубе, перемещением которой производится фокусировка. Несвязанные, независимые осветители типа ОИ–9, ОИ–21 (рис. 3) и др. используются в том случае, если фокусировка микроскопа осуществляется поднятием и опусканием столика.

5 – Поляризатор подвижный. Все наблюдения в рудном микроскопе проводятся в линейно-поляризованном вертикально падающем свете. При выходе из поляризатора свет характеризуется однородным полем поляризации.

6 – Апертурная диафрагма-ирис. Убирает световую вуаль, регулирует освещенность поля зрения, уменьшая отверстие угол (см. ниже). Диафрагма проектируется на отверстие объектива.

7 – Диафрагма-ирис полевая, или поля зрения. При полностью закрытой диафрагме поле зрения сокращается до определенных размеров, а изображение становится зримо более ярким. При таком положении диафрагмы проходят только центральные лучи света, благодаря чему детали объекта становятся более четкими. Диафрагмой поля зрения можно пользоваться при микрофотографировании.

8 – Линзы-выпрямители света те же, что и в осветителе (2–3).

9 – Опак-иллюминатор (рефлектор) – прибор или устройство для получения вертикального отраженного света. Опак-иллюминатор является основной деталью рудного микроскопа и помещается между объективом и вертикальным тубусом микроскопа (см. рис. 1–3). Опак – непрозрачный, иллюминатор – окошечко. Собственно опак-иллюминатор представлен в рудном микроскопе отечественного производства двумя типами – пластинковым и призматическим.

а) Пластинковый опак-иллюминатор представляет собой обыкновенную стеклянную (иногда покрытую высокопреломляющим веществом) пластинку, расположенную под углом  $45^\circ$  к падающим лучам. Пучок света, идущий горизонтально от лампочки, достигает пластинки; часть его рассеивается в разные стороны при отражении от пластинки и поглощается тубусом микроскопа; часть пропускается прозрачной пластинкой и тоже поглощается, а какая-то часть (10–25 %) света отражается и направляется вертикально вниз. Отраженные от объекта лучи идут обратно, проходя снова через пластинку, используя все отверстие тубуса, создают изображение в фокальной плоскости окуляра и затем попадают в глаз наблюдателя (рис. 4). Таким образом, при работе с



**Рис.3. Осветитель независимый**

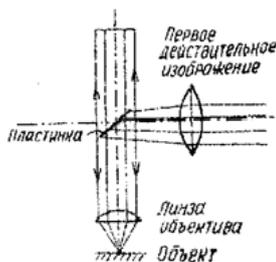


Рис .4. Ход лучей с пластинковым опак-иллюминатором

96 %). Горизонтальные лучи, идущие от лампочки, проходят через линзы-выпрямители, светофильтр, поляризатор и, минуя диафрагмы, попадают на диагональную сторону стеклянной призмы, покрытую серебром. Отразившись от этой поверхности, лучи меняют направление, становятся вертикальными. Далее, пройдя через объектив и отразившись от объекта, лучи, минуя опак-иллюминатор, который закрывает половину рабочего отверстия объектива, попадают в окуляр, а затем – в глаз наблюдателя, как показано на рис. 5. Такое расположение опак-иллюминатора приводит к некоторой неравномерности освещения объекта, что заметно при работе с большими увеличениями и на микрофотографиях. К тому же не полностью используется апертура, что влияет на качество изображения. Достоинством призматического опак-иллюминатора следует считать малую потерю света: в глаз наблюдателя попадает, примерно, 50 % от первоначальной силы света.

В микроскопе МИН-9 на одном стержне (см. рис. 1–4) смонтированы оба типа опак-иллюминатора: при выдвинутом до отказа стержне включается пластинка, при нормальном положении стержня можно пользоваться призмой. Чтобы проверить, какое устройство включено в данный момент, следует вынуть окуляр и заглянуть в тубус: если освещена только половина отверстия тубуса, значит включена призма, при полностью освещенном отверстии – поставлена пластинка.

10 – Объективы предназначены для увеличения объекта и представляют собой набор стеклянных линз, заключенных в металлическую оправу. Внешняя линза, создающая изображение, называется фронтальной, остальные линзы предназначены для устранения хроматической, сферической и других aberrаций (кома, дисторсия, астигматизм), возникающих в обыкновенной стеклянной линзе.

Хроматическая aberrация обусловлена расположением (дисперсией) белого луча света на цветные, которые преломляются по-разному: длинноволновые красные, коротковолновые фиолетовые при выходе из линзы сходятся не в одной точке. В результате вокруг светящегося объекта возникают светлые круги с радужными каемками.

Сферическая aberrация заключается в том, что лучи, падающие на краевые и центральные части линзы, при выходе из нее также сходятся не в одной точке, что приводит к появлению световой вуали по периферии изображения.

По степени коррекции, устранения этих оптических явлений, возникающих при прохождении лучей через обыкновенную стеклянную линзу, различают объективы ахроматы, апохроматы и полу-

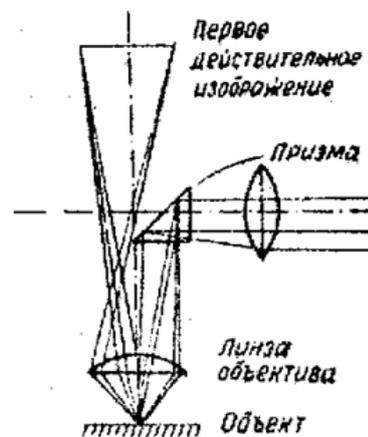


Рис.5. Ход лучей с призматическим опак-иллюминатором

пластинкой достигается равномерность освещения объекта, так как пластинка прозрачная и пропускает обратные (отраженные) лучи, используя полностью апертуру (см. ниже), изображение становится качественным, что важно при работе с большим увеличением и особенно при микрофотографировании. Недостаток этого устройства – большая потеря света.

б) Призматический опак-иллюминатор представляет собой стеклянную призму, диагональная сторона которой покрыта тонким слоем серебра, обладающим почти полным внутренним отражением ( $R =$

апохроматы (флюоритовые линзы). Ахроматы – частично исправленные объективы, применяемые для работы с малыми увеличениями. Апохроматы – высококачественные конструкции, исправленные в отношении сферической и хроматической аберраций, пригодные для работы с большими увеличениями и при микрофотографировании. Флюоритовые объективы, промежуточные по качественным характеристикам между двумя предыдущими, дают хорошее изображение в сочетании с компенсационным окуляром. Сведения об объективах и окулярах к рудному микроскопу МИМ–9 приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Объективы и окуляры к рудному микроскопу МИМ-9**

| Объективы и окуляры                    | Собств. увелич. | Апертура | Возможные исследования  |
|--|-----------------|----------|---|
| Объектив сухой                         | 4,7             | 0,11     | Общее знакомство с аншлифом; определение твердости методом царапания стальной иглой; проведение светового и химического травления   |
| ___"___                                | 9               | 0,2      | Наиболее удобен для диагностики минералов; количественного подсчета; применения «косого» света; метода порошковой графики и др.   |
| ___"___                                | 21              | 0,4      | Для детального определения оптич. и физич. свойств: двуотражения, анизотропии, твердости методом абразивных штрихов, относительного рельефа; наблюдения внутренних структур, структур распада и др. |
| ___"___                                | 40              | 0,65     | Определение очень мелких включений минералов, деталей структур и др.  |
| Объектив иммерсионно-маслян. ___"___   | 11              | 0,25     | Наблюдение внутренних рефлексов, двуотражения, анизотропии и др.  |
|  | 30              | 0,65     |   |
| ___"___                                | 95              | 1,25     | Диагностика мельчайших включений минералов  |
| Окуляры с микрометр. шкалой и сеточкой | 7               |          | Определение размеров зерен и количественно-минералогический подсчет   |
| Окуляр обыкновен. с крестом нитей      | 10              |          | Удобен для работы с объективами средних и сильных увеличений  |
| Окуляр компенсационный                 | 15К             |          | С объективами средних и малых увеличений для наблюдения структурных взаимоотношений   |
| Окуляр симметричный                    | 15С             |          |   |

Вследствие дифракции, т.е. отклонения лучей у границ непрозрачных препятствий, изображение получается не в виде точки, а в виде светового пятна и, в результате, две близкие точки сливаются. Четкость раздела (наименьшее расстояние) между соседними точками и линиями – разрешающая способность микроскопа – будет зависеть от свойств и качества оптической аппаратуры, в частности, от объектива, от его апертуры. Объективы, таким образом, не только создают увеличенное изображение, от них зависит качество изображения, глубина выявления деталей, разрешающая способность микроскопа.

Апертура (A) или нумерическая апертура (Н.А) – это оптическая характеристика линзы объектива, определяющая глубину резкости и степень увеличения. Математически  $A = \sin \varphi$ , где  $\varphi$  – половина отверстие (отверстие объектива) или апертурного угла, образованного при вершине конуса лучей, отраженных от полированной поверхности объекта, или угол, который ограничивается двумя конечными лучами – падающим и отраженным от объекта (рис.6). Теоретически отверстие (угловая апертура) может быть равен  $180^\circ$ , следовательно, максимальный угол  $\varphi = 90^\circ$  ( $\sin 90^\circ = 1$ );  $n$  – показатель преломления среды, в которой проводятся наблюдения.



Рис.6. Отверстный угол и угол  $\varphi$



Рис.7. Глубина фокуса (D) при малых апертурах,  $\delta$  - наименьшее разрешимое расстояние в объективе;  $\varphi$  – апертурный угол, влияющий на глубину фокуса

Если используются обыкновенные сухие объективы, где между фронтальной линзой объектива и объектом находится воздух, показатель преломления которого равен 1, то максимальное значение апертуры тоже будет равняться 1 (на практике – это 0,95, что определено углом  $\varphi = 70^\circ$ ). В минараграфии применяют еще иммерсионно-масляные объективы (с черным ободком на оправе); в качестве иммерсии используют кедровое масло, показатель преломления которого  $N = 1,514$ . Кедровое масло помещается между объективом и объектом, касаясь того и другого в виде столбика, через который ведутся наблюдения. Следовательно, применяя иммерсию, можно увеличить апертуру до

1,5 и повысить качество изображения, так как повышается общее увеличение микроскопа. Сила микроскопа (J), его разрешающая способность, т.е. наименьшее расстояние между двумя точками или линиями, которые еще можно видеть отдельно, зависит и от длины волны падающего света:  $J = \dots$ . Размер мельчайших деталей, которые способен различить глаз наблюдателя (разрешающая способность глаза или предел разрешения) – десятые доли микрона.

Здесь следует вспомнить апертурную диафрагму (см. рис.2–6), которая проектируется на фронтальную линзу объектива (2–6<sup>I</sup>). При закрывании апертурной диафрагмы уменьшается апертурный угол, уменьшается апертура и сила микроскопа, однако снимается световая вуаль, которая неизбежна при пользовании обыкновенной линзой, и увеличивается глубина фокуса изображения, т.е. расстояние между крайними положениями линзы – верхним и нижним, сохраняющим фокусировку объекта (рис.7).

На оправе объектива указано его увеличение ( $4,7^\times$ ,  $9^\times$  и др.) или фокусное расстояние ( $F = 0,23$  и др.). Общее увеличение микроскопа определяется произведением увеличения объектива на увеличение окуляра и лежит в пределах 500–1200.

11 – Полированный объект – аншлиф или полированный шлиф.

12 – Анализатор выявляет изменения линейно-поляризованных лучей после отражения их от минерала. Анализатор не пропускает плоско-(линейно) поляризованные лучи, вышедшие из поляризатора (см. рис.2–5), но пропускает поляризованные по эллипсу и по кругу, чем и обусловлено, нередко, отсутствие полной темноты при скрещенных николях.

13 – Окуляр создает плоское увеличенное изображение, полученное объективом, и состоит из двух линз в металлической оправе: внешняя верхняя линза называется глазной, нижняя – полевой. Между двумя линзами находится диафрагма, снабженная крестом нитей или шкалой, сеткой для измерения размера зерен и количественно-минералогического подсчета (окуляры Гюйгенса). Окуляры без креста нитей: компенсационный (на оправе буква К), корректирующий хроматическую аберрацию, и симметричный (на оправе буква С) – применяется при работе с объективами малых и средних увеличений и при микрофотографировании (см. табл.1).

Первое действительное (обратное и увеличенное) изображение, полученное объективом, действием полевой линзы окуляра, располагается в передней фокальной плоскости глазной линзы. Последняя преобразует лучи, создающие действительное изображение, тем самым увеличивая угол поля зрения. Глаз наблюдателя видит уже мнимое (вторичное, обратное и увеличенное) изображение, уходящее в бесконечность, на расстоянии так называемого наилучшего зрения (рис.8). В отличие от объектива окуляр, который тоже создает увеличенное изображение, не может повысить разрешающую способность микроскопа. Увеличения показаны на оправе окуляра ( $7^{\times}$ ,  $10^{\times}$ ,  $15^{\times}$ ).

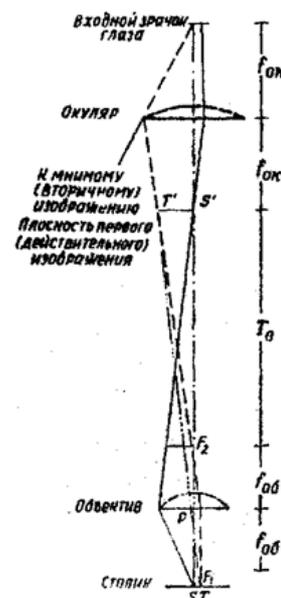


Рис. 8. Ход лучей; объектив-окуляр (Галопен, Генри, 1975); ST – объект;  $T_1S_1$  – первое реальное изображение ST; P – центральная точка объектива;  $f_{об}$  – длина фокуса объектива и  $f_{ок}$  – окуляра; F – фокусы объектива;  $T_0$  – оптическая длина тубуса

## 1.2. Изготовление аншлифа

Качество аншлифа существенно влияет на диагностику минералов и на работу с аншлифом в целом, поэтому нужно знать как делается аншлиф и какие требования предъявляются к его качеству. Весь процесс изготовления аншлифа можно разделить на 4 стадии.

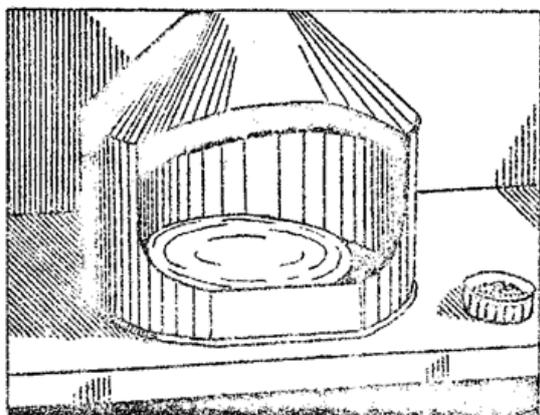


Рис.9. Шлифовальный станок

1. Распиловка на резальном станке или обдирка с целью получения ровной поверхности крепкой (не рыхлой) породы или руды. Обдирка проводится на шлифовальном станке (рис.9) с помощью самых грубых абразивов (табл.2), в качестве которых используется естественный материал – наждак или искусственный – карборунд.

2. Шлифовка осуществляется на шлифовальном станке с различными по крупности абразивами – минутниками или микронниками (см. табл.2). Цель шлифов-

ки – удаление некоторой части образца, деформированной в процессе распиловки, а затем – постепенная нивелировка поверхности, т.е. максимальное выравнивание микрорельефа с целью выведения минералов различной твердости на одну плоскую поверхность. Выравнивание поверхности достигается сменой (три, четыре раза) абразивного материала, начиная от крупного к мелкому.

Таблица 2

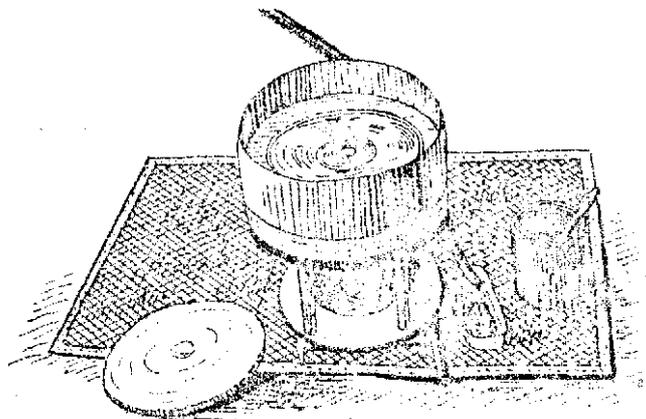
**Характеристика абразивов**

| Минутники<br>(старая классификация) | Микронники (мк)<br>(новая классификация)           | Применение  |
|-------------------------------------|--|---|
| 1–2<br>3<br>5                       | Шлиф-<br>порошки<br>120 125<br>160 75<br>180 52-62 | Распиловка и обдирка крепких образцов руды. Исправление стеклянных плит и чугунных дисков |
| 15<br>30                            | Микрошлиф-<br>порошки<br>M28 20-28<br>M-14 14-20   | Первоначальная шлифовка на чугунном диске.  |
| 60<br>120<br>240                    | M-12 10-14<br>M-Ю 7-10<br>M-7 5-7                  | Последующая шлифовка и доводка на стекле  |
| <u>Полировальный материал</u>       |  |   |
| Окись железа                        |  | Грубый полировальный материал   |
| Окись хрома                         |  | Универсальный полировальный материал  |
| Окись алюминия<br>Окись магния      |  | Высококачественный полировальный материал   |
| Алмазные пасты                      |  | Самый высококачественный полировальный материал   |

3. Доводка, завершающая стадия шлифовки, проводится с помощью самых тонких абразивов на зеркальном толстом стекле, тщательно выверенном на планарность. Продолжительность стадии 40–60 мин, до появления (визуально) блеска на всей обрабатываемой поверхности образца.

4. Полировка – заключительная стадия изготовления аншлифа, осуществляется на специальном полировальном станке (рис. 10), представляющем собой вращающийся со скоростью 1200–2000 об/мин стальной диск, обтянутый биллиардным сукном, фетром, шелком или залитый смелой, воском и другим материалом по мере необходимости. В

качестве абразивов используются самые тонкие минутники (240) или микронники (3 мк) и алмазные пасты (см. табл.2). Продолжительность полировки определяется твердостью минералов: 1–2 мин. для мягких минералов (галенит, халькозин, молибденит, антимонит и др.), 5–10 мин. – для твердых. Очень сложно выбрать время полировки минералов с разной твердостью, находящихся в контакте, отполировать их одинаково хорошо.



**Рис.10. Полировальный отапок**

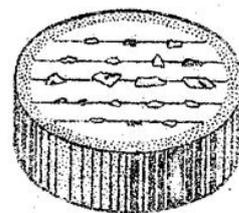
Аншлиф можно приготовить из землистого образца, предварительно проварив его в смеси канифоли с ксилолом (3:1), после чего проделать все отмеченные стадии обработки аншлифа. Чтобы сделать аншлиф из сыпучего материала (шлифовой магнетит, ильменит и др.) нужно иметь пресс-форму и склеивающий материал, такой как зубопротезный цемент, полистирол или стиракрил (Вольнский, 1966). С помощью пресса готовят брикет (впрессовывают зерна в твердую смолу или тестообразный цемент), а затем, как было показано, сначала шлифуют, потом полируют препарат.

В качестве цементирующего материала можно использовать эпоксидную смолу. В стеклянную или металлическую форму следует залить жидкую смолу и после её затвердения острым предметом сделать несколько неглубоких параллельных бороздок. Затем в определенном порядке (под бинокулярным микроскопом) пинцетом разложить зерна так, чтобы они несколько выступали над бороздками и снова осторожно (по каплям) залить их смолой. Когда смола затвердеет, брикет-"шашечку" (рис. 11) шлифуют на стекле, а затем полируют. Такую чашечку можно использовать и для электронно-зондового микроанализа.

В готовом аншлифе возможны следующие дефекты:

1. Глубокие пустоты и трещины, обусловленные выкрошиванием минералов и растрескиванием образца во время распиловки. Выкрошенные частицы твердых минералов оставляют углубления, сохраняющиеся на отполированной поверхности. Чтобы избежать механического разрушения образца в период его обработки, следует провести предварительную тщательную проварку. Кроме того, рекомендуется сгладить, сточить края и сровнять боковые стороны аншлифа.

2. Резкий рельеф между твердыми и мягкими минералами приводит к появлению черной каймы по границам соприкасающихся зерен и затрудняет наблюдение взаимоотношений между



**Рис. 11. Брикет – «чашечка», изготовленная из сыпучего материала**

этими минералами. Рельеф между твердыми и мягкими минералами возникает при нарушении постепенности нивелировки (при сокращении доводки) и при неумеренно продолжительной полировке. Уменьшить этот дефект можно при повторной доводке на стекле и последующей полировке. Безрельефные аншлифы можно изготовить только на шлифовально-полировальных и полировальных полуавтоматах.



Рис.12. Минераграфический пресс

Готовый аншлиф (средний 3,6× 3,5 см площадью и 2–3 см высотой) монтируется с помощью пластилина на предметном стекле. Для придания образцу идеальной горизонтальности (угол падения лучей должен равняться углу отражения) следует прижать аншлиф, слегка вдавливая его в пластилин минераграфическим прессом (рис.12).

Наряду с описанными аншлифами в настоящее время используются прозрачно-полированные шлифы, помогающие, детальнее изучить одновременно рудные и нерудные минералы, как в отраженном, так и в проходящем свете (Крейг, Воган, 1983). В таких шлифах отчетливее видна внутренняя структура рудных минералов, а также многие детали взаимоотношений всех минералов в образце.

## 2. ДИАГНОСТИКА РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Рудные минералы определяются по комплексу признаков оптических, физических и химических. До недавнего времени (40–50-е годы) ведущими диагностическими признаками минералов являлись физические (твердость) и химические (диагностическое травление). Чисто оптические свойства рудных минералов (отражательная способность, цвет и др.) не использовались при определении, так как не было еще соответствующей аппаратуры, способной уловить и количественно оценить оптические характеристики в отраженном свете, хотя визуально многие оптические явления наблюдались исследователями на заре развития минераграфии.

В настоящее время проводятся работы по автоматизации определения как отдельных свойств минералов, так и общей их диагностики. Предлагается создать единую минералогическую автоматическую информационно-диагностическую систему (АИДС) на базе ЭВМ, необходимую для организации банка данных по различным минералогическим (оптическим, физическим, химическим) константам (Эстерле,1975; Диагностика и диагностические свойства минералов,1981; Автоматическая информационно-диагностическая система...,1986 и др.).

### 2.1. Оптические свойства

#### 2.1.1. Отражательная способность. Показатель отражения (R)

Степень отражения света (отражательная способность) или яркость (интенсивность света) неодинаковы у различных минералов, поэтому в отраженном свете одни из них выглядят темными, другие – светлыми, яркими. Самые темные в отраженном свете – минералы нерудные, самые яркие – самородные металлы, хотя на те и другие от опак-иллюминатора падает свет одинаковой интенсивности.

Отражательная способность может быть замерена прямым путем с помощью микрофотометра как отношение интенсивности отраженного света и интенсивности падающего;

$R = \frac{I_{refl}}{I_{inc}}$ , где  $R$  – показатель (коэффициент) отражения есть численное значение отражательной способности, выраженное в долях единицы или в процентах от интенсивности падающего на минерал света, – для каждого минерала величина постоянная. Количественное определение показателя отражения проводится с помощью микрофотометра (микрофотометрические насадки и приборы ФМЭ-I, ФМЭП и ПООС-1) однолучевого типа, предназначенного для сравнения отражательной способности эталона и неизвестного минерала. Регистрация интенсивностей отражения минерала и эталона может быть субъективной (визуальное выравнивание интенсивностей) или объективной, осуществляемой фотоприемником. Двухлучевой микроспектрофотометр МСФП, разработанный на основе схемы прибора "Блеск", позволяет проводить полные прямые автоматические измерения показателей отражения минералов в абсолютных единицах для каждой длины волны. Более поздние модели – микроскопы-спектрофотометры МСФ-10 и МСФУ-10 (рис. 13). В настоящее время разработана новая установка для автоматической диагностики дисперсии отражения МСФП-10 (Юшко, 1984).

Показатель отражения можно вычислить с помощью формулы Френеля

$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$  и  $n = \frac{K + 1}{K - 1}$  для минералов прозрачных и формулы Бера

$R = \frac{K}{K + 1}$  для минералов непрозрачных, где  $n$  – показатель преломления минерала;

$K$  – коэффициент абсорбции (поглощения света) минерала,  $I$  – показатель преломления воздуха.

Если исследования проводятся в масляной иммерсии, тогда вместо единицы ( $I$ ) вводится соответствующий показатель отражения среды  $n_u$  (чаще всего применяется кедровое масло), а отсюда  $R = \frac{(n - n_u)^2}{(n + n_u)^2}$  и  $n = n_u \frac{1 + R}{1 - R}$  или  $R_u = \frac{K}{K + 1}$ .

Измерив показатели отражения в воздухе ( $R$ ) и в иммерсии ( $R_u$ ), можно вычислить  $n$  и  $K$  для непрозрачных минералов по системе двух уравнения:  $n = \frac{1 + R}{1 - R}$ ,  $K = \frac{1 + R}{1 - R}$ .

Зависимость между показателем отражения и показателем преломления минерала, как видно из первой формулы, прямая: с ростом показателя преломления растет и показатель отражения. Так, кварц и гранат – прозрачные минералы и их показатель отражения зависит только от показателя преломления: у кварца низкий показатель преломления (1,544) и низкий показатель отражения (4,5 %); у граната высокий показатель преломления (в среднем 1,860) и гораздо выше показатель отражения (9 %).

Прямая зависимость наблюдается также между показателем отражения и коэффициентом абсорбции минерала, который для прозрачных или полупрозрачных минералов равен или почти равен нулю (формула Френеля). Для сильно абсорбирующих минералов (самородные металлы и многие непрозрачные даже в тонких осколках сульфиды) показатель отражения будет зависеть в основном от коэффициента абсорбции (формула Бера).

Показатель отражения является функцией длины волны света ( $\lambda$ ). Так,  $R$  галенита в воздухе при  $\lambda$  (в нм): 49 % – 460, 43 % – 589 и 660; у пирита  $R$  при  $\lambda$  (в нм): 44 % – 460, 55 % – 589, 56 % – 660; у пирротина  $R$  при  $\lambda$  (в нм): 37–31 % – 460, 43–37 % – 589, 44–40 % – 660 и др. Измерив показатель отражения ( $R$ ) для различных волн одного и того же минерала, данные выносят на график ( $R$  % –  $\lambda$ , нм) и получают дисперсионную кривую – спектр отражения. В настоящее время почти для всех рудных минералов в

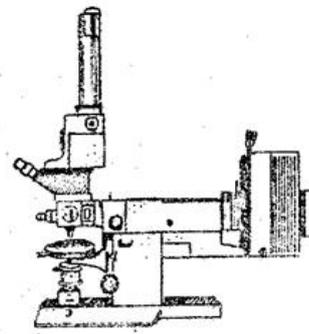


Рис. 13. Общий вид прибора МСФУ-10

видимой области света получены спектры отражения, которые можно использовать для диагностики минералов. Спектр отражения зависит от строения и химического состава минерала, следовательно, его профиль, форма могут дать широкую информации об оптических свойствах рудных минералов (Волынский, 1968; Справочник, 1986). Спектры отражения помогают и при решении некоторых генетических вопросов. Так, меняется форма спектров отражения и величина  $R$  у пирита, содержащего примеси (рис.14). У сфалерита заметно изменяется  $R$  и характер кривой отражения в зависимости от примесей (рис.15). На рис.16 приведены спектры хромшпинелидов разного состава:  $R$  хромита сильно понижается с ростом содержания алюминия (1, 2) и сильно возрастает с ростом  $Fe^{3+}$  (3,4). Заметно отличаются кривые пирротина и троилита (рис.17).

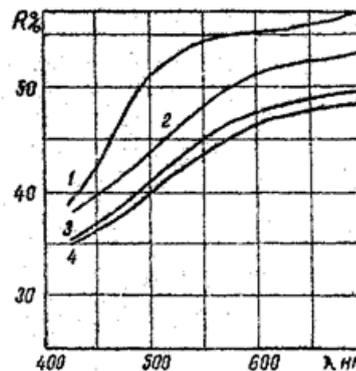


Рис.14. Спектры отражения пирита: 1-без примесей и с примесью никеля, 2-4 -с примесью сурьмы

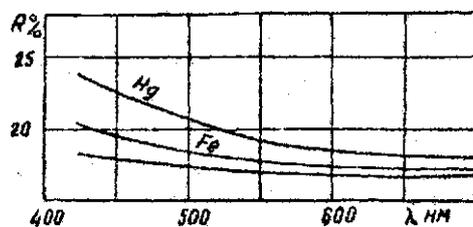


Рис. 15. Спектры отражения сфалерита (Hg, Fe - примеси)

Минералы изотропные имеют один спектр отражения, у анизотропных одноосных минералов их два, у двуосных – три, так как  $R$  зависит от кристаллографической ориентировки среза минерала (оптической индикатрисы).

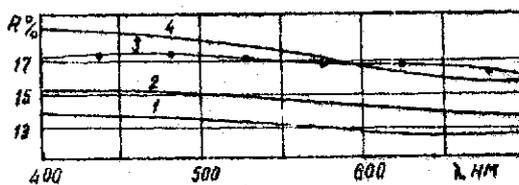
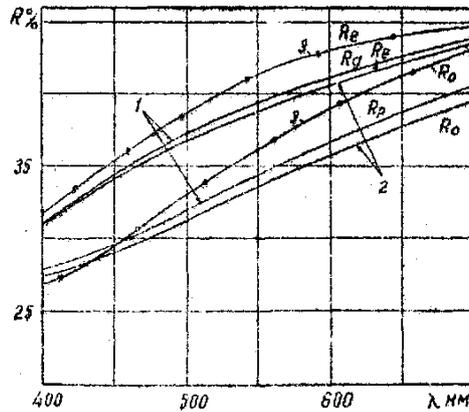


Рис.16. Спектры отражения хром-шпинелидов разного состава

Спектры отражения, форма кривой дисперсии различны у анизотропных минералов: кривые могут быть параллельны, не параллельны и могут пересекаться. Взаимное расположение кривых отражения  $R_g$ ,  $R_m$ ,  $R_p$  (или  $R_0$  и  $R_e$ ) дает более полную информацию для диагностики минерала и характеристики некоторых его оптических свойств.

В практической работе надо научиться оценивать отражательную способность минералов «на глаз», путем сравнения яркости исследуемого минерала с распространенными минералами того же цвета. Так, самородное серебро будет «гореть» на фоне тоже белого галенита; такая же картина наблюдается при сравнении золота яркого желтого цвета с желтым же халькопиритом и др. Естественно, что более темный минерал будет иметь и более низкий показатель отражения.



**Рис.17. Спектры отражения: 1 – пирротин моноклинный, 2 – пирротин гексагональный, 3 – троилит**

Для более точной качественной оценки яркости окрашенных минералов используют окуляры-монокроматоры. Светофильтры подбирают применительно к цвету отраженной волны. Так, медь и другие красные минералы сравниваются в красном светофильтре; киноварь, блеклая руда и другие минералы белого цвета с синим оттенком – в синем светофильтре.

2.1.2. Двуотражение или отражательный плеохроизм наблюдается у анизотропных минералов ПРИБЛИЖИТЕЛЬНО ОДНОМ НИКОЛЕ! Это разность между наибольшим и наименьшим показателями отражения случайного сечения минерала любой сингонии и главного сечения двуосных минералов. При повороте столика микроскопа происходит изменение яркости отражения света – минерал заметно погасает и просветляется через каждые 90°.

Таблица 3

| Двуотражающие минералы           |              |
|----------------------------------|--------------|
| <u>Сильно двуотражающие</u>      |              |
| Молибденит                       | Брейгауптит  |
| Аурипигмент                      | Пирротин     |
| Бергьерит                        | Валлериит    |
| Пирролюзит                       | Ковеллин     |
| Прустит                          | Антимонит    |
| Пираргиррит                      | Джемсонит    |
| Графит                           | Лепидокрокит |
| Маркезит                         | Энардит      |
| Никелин                          | Сильванит    |
| Кальцит                          | Гаусманит    |
| <u>Слабо двуотражающие</u>       |              |
| Саффорит                         | Полибазит    |
| Раммельсбергит                   | Штроемерит   |
| Лёллингит                        | Тенорит      |
| Арсенопирит                      | Миллерит     |
| Мышьяк                           | Кубанит      |
| Висмутин                         | Энардит      |
| Буланжерит                       | Ильменит     |
| Эмплектит                        |              |
| <u>Очень слабо двуотражающие</u> |              |
| Глаукоdot                        | Вольфрамит   |
| Касситерит                       | Гессит       |
| Тетрадимит                       | Гематит      |
| Аргентит                         | Станин       |

Различают сильно, слабо и очень слабо двуотражающие минералы (табл.3). Эффект двуотражения усиливается при наблюдении с масляной иммерсией. У окрашенных минералов эффект двуотражения становится более заметным в иммерсии, так как меняются интенсивность окраски и оттенки.

**2.1.3. Цвет.** Четко окрашенных рудных минералов в отраженном свете мало. Основная масса рудных минералов – белые и серые с различными оттенками, которые трудно поддаются однозначному определению разными наблюдателями. Минералы белого цвета (эталон галенит) высокоотражающие; минералы серого цвета (эталон сфалерит) низкоотражающие; минералы темно-темно-серые (кварц, полевой шпат и др.) нерудные – очень низко отражающие. Отчетливо окрашенные минералы: халькопирит – желтый, никелин – розовый, ковеллин – синий, пирротин – кремово-желтый и др. (табл. 4).

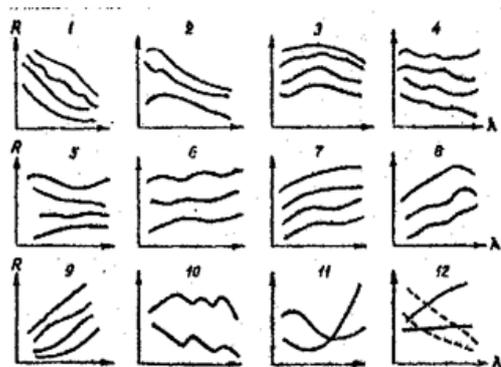
Изменение оттенков у минералов нередко зависит от окружения. Так, в контакте с золотом халькопирит тускнеет, а с галенитом – становится ярким, чисто желтым; кобальтин в контакте с пиритом яркий белый, однако рядом с арсенопиритом у кобальтина ясно виден розовый оттенок; гематит на фоне нерудных минералов выглядит очень ярким, высокоотражающим, в сравнении с галенитом кажется серым, а с магнетитом – белым и т.п.

Глаз наблюдателя является очень тонким оптическим прибором со своими субъективными особенностями, поэтому объективная характеристика цвета, как и любого другого диагностического признака, нуждается в количественной оценке. Количественная цветовая (хроматическая) характеристика может быть дана по дисперсии отражения в видимой области спектра: цвет определяется той длиной волны ( $\lambda$ ), в которой  $R$  имеет максимальное значение. Спектральные пределы видимых глазом цветов:

|            |           |           |           |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| Фиолетовый | – 390–450 | желтый    | – 550–585 |
| синий      | – 450–480 | оранжевый | – 585–620 |
| голубой    | – 480–510 | красный   | – 620–760 |
| зеленый    | – 510–550 |           |           |

Различают два основных типа дисперсии: нормальный – с увеличением  $\lambda$  уменьшается  $R$  и другие оптические постоянные (минералы слабопоглощающие); аномальный – с увеличением  $\lambda$  растет и  $R$  (минералы сильнопоглощающие). Для большинства рудных минералов дисперсия оптических свойств сложная, не укладывается в эти два типа и названа смешанной.

Количественно оценить цвет и оттенки минерала удобнее по кривым зависимости  $R$  от  $\lambda$ , т.е. по спектру отражения, который можно использовать, как уже отмечалось, для диагностики минерала и отдельных его оптических свойств (анизотропия, двуотражение, цвет и др.). Колориметрические кривые могут иметь простой или сложный профиль, что зависит от индивидуальных особенностей минерала. По положению максимума отражения на кривой Л.Н. Вьяльсов (1976) выделил 12 типов спектров отражения (рис.18). Крутизну спектра отражения можно выразить через коэффициент частной дисперсии  $F$ , числом, представляющим разность между крайними по спектру величинами отражения в выбранном диапазоне длин волн:  $F =$



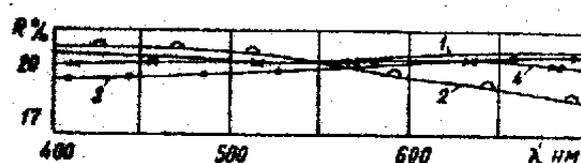
**Рис.18 . Типы спектров отражения рудных минералов**

Таблица 4

| Цвет рудных минералов в отраженном свете |                         |    |              |                    |    |
|--|-------------------------|----|--------------|--------------------|----|
| Минералы белого цвета                    |                         |    |              |                    |    |
|  |                         | R  |              |                    | R  |
| Галенит                                  |                         | 43 | Платина      |                    | 70 |
| Скутеррудит                              |                         | 60 | Сурьма       |                    | 68 |
| Линнеит                                  |                         | 46 | Мышьяк       |                    | 58 |
| Герсдорфит                               |                         | 49 | Бертьерит    |                    | 45 |
| Раммельсбергит                           |                         | 57 | Бурнонит     |                    | 38 |
| Лёллингит                                |                         | 56 | Цилиндрит    |                    | 39 |
| Арсенопирит                              |                         | 57 | Гессит       |                    | 41 |
| Глаукодот                                |                         | 57 | Антимонит    |                    | 43 |
| Минералы белого цвета с оттенками        |                         |    |              |                    |    |
| Алтаит                                   | розовато-коричнев.      | 70 | Кобальтин    | Розовый            | 51 |
| Тетрадимит                               | кремовый                | 57 | Серебро      | крумовый           | 95 |
|  |                         |    | Бурнонит     | Зеленовато-голубой | 33 |
| Дискразит                                | Желтоват.               | 66 |              | – " –              | 37 |
| Саффлорит                                | Голубов.                | 57 | Буланжерит   |                    |    |
| Висмутин                                 | Желтов.                 | 48 | Пиролоюзит   | Кремово-желтый     | 33 |
| Джемсонит                                | зеленов.                | 38 |              |                    |    |
| Маухерит                                 | розоват.                | 56 | Куприт       | голубой            | 29 |
| Киноварь                                 | голубов.                | 31 | Эмплектит    | желтый             | 49 |
| Полидимит                                | розовато-желт.          | 52 | Айкинит      | кремовый           | 46 |
| Минералы серого цвета                    |                         |    |              |                    |    |
| Сфалерит                                 |                         | 17 | Уранинит     |                    | 14 |
| Вольфрамит                               |                         | 16 | Гаусманит    |                    | 20 |
| Касситерит                               |                         | 11 | Манганит     |                    | 18 |
| Хромит                                   |                         | 14 | Аурипигмент  |                    | 32 |
| Ильменит                                 |                         | 20 | Малахит      |                    | 8  |
| Минералы серого цвета с оттенками        |                         |    |              |                    |    |
| Магнетит                                 | голубоватый и коричнев. | 20 | Гематит      | Голубой            | 25 |
| Маггемит                                 | голубоватый             | 23 | Реальгар     | фиолетовый         | 20 |
| Гётит                                    | – " –                   | 20 | Штроемейерит | Розовато-фиолет    | 37 |
| Прустит                                  | голубой                 | 37 | Халькозин    | Голубов.           | 37 |
| Пираргиррит                              | – " –                   |    | Виоларит     | Фиолетовый         | 40 |
| Тетраэдрит                               | Коричневый              | 30 | Станнин      | оливковый          | 25 |
| Теннантит                                | зеленоват.              |    |              |                    |    |

| Окрашенные минералы |   |    |
|---------------------|---|----|
| Медь самородная     | насыщенный густо розовый                    | 96 |
| Висмут самородн     | кремово-розовый                             | 72 |
| Никелин             | розовый                                     | 68 |
| Миллерит            | бледно- желтый                              | 55 |
| Троилит             | кремовый                                    | 45 |
| Пирротин            | кремово-розовый                             | 48 |
| Пентландит          | светло-кремовый                             | 53 |
| Пирит               | желтовато-белый                             | 53 |
| Марказит            | бледно-желтый                               | 57 |
| Халькопирит         | насыщенно желтый                            | 48 |
| Кубанит             | желтоватый                                  | 45 |
| Борнит              | коричневато-розовый, фиолетовый             | 32 |
| Валлериит           | от желтовато-коричневого<br>до темно-серого | 20 |
| Ковеллин            | синий                                       | 30 |
| Брейтгауптит        | сиреневато-розовый (пурпурный)              | 60 |
| Хизлевудит          | кремовый                                    | 60 |
| Золото              | яркий желтый                                | 84 |

У минералов бесцветных или очень слабо окрашенных кривые почти горизонтальные и соответствуют 5-му (некоторые 4-му) типу спектра. Коэффициент  $F = 0$  или близок к нулю и может быть как положительным, так и отрицательным. Таковы минералы: сфалерит (см. рис. 15), хромшпинелиды (см. рис.16), вольфрамит, ильменит, магнетит и др. На рис.19 показаны спектры отражения магнетита разного состава. Спектры близки к горизонтальной линии со слабо выраженными пологими максимумами в красной (1) и сине-зеленой (4) областях, что обуславливает соответственно коричневатый и голубой оттенки магнетита.  $R$  магнетита резко снижается (до 14 %) с ростом  $A1$  (и  $Cg$ ) и ульвошпинели ( $Fe^{IV}TiO_4$ ) в твердом растворе.



**Рис.19.** Спектры отражения магнетита:1-магнетит и магнизиальный магнетит, 2-хроммагнетит (выпрямленный профиль), 3-титаномангнетит (дисперсия аномального типа),4-титаналюмохроммагнетит (дисперсия нормального типа)

Минералы с нормальной дисперсией, белого и серого цвета с оттенками в голубых и зеленых тонах имеют кривые со значительным крутым максимумом в ультрафиолетовой области спектра. Параметр  $F$  всегда положительный ( $F > 0$ ) спектры отражения относятся к 1, 2, 3 и некоторые – к 4 типам (см.рис.18). В качестве примера можно привести галенит (рис.20); теннантит (рис.21) – кривая опускается от фиолетового конца спектра к красному, обуславливая белый цвет минерала с сиреневым или фиолетовым оттенком; станнин (рис.21) – кривая отвечает зеленой области спектра.

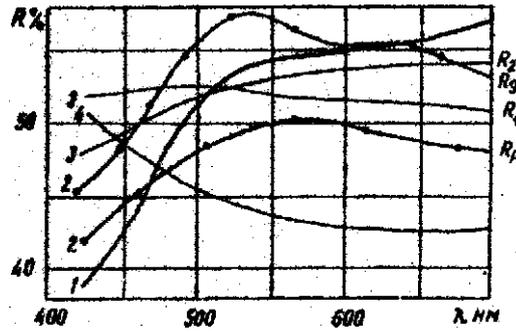


Рис.20. Спектры отражения: 1-пирит, 2-марказит, 3-арсенопирит,4-галенит

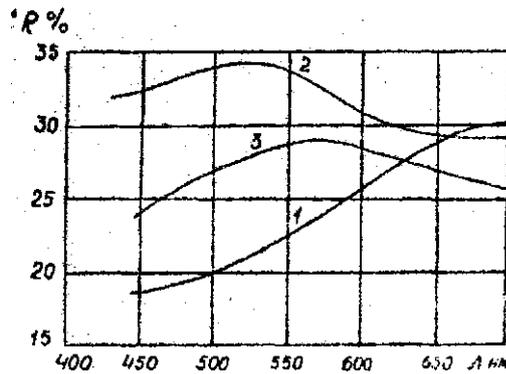


Рис.21. Спектры отражения: 1-борнит, 2-теннантит, 3-станнин

Минералы с аномальной дисперсией имеют сложные спектры с четкими минимумами в синей и максимумами в красной областях спектра (см.рис.18 6,7,8 и 9 типы); параметр  $F$  всегда отрицательный ( $F < 0$ ). Минералы окрашены в розовый, кремовый, желтый цвет или белые с розовым и желтым оттенками: пирит, марказит (см.рис. 20); борнит (см. рис.21); халькопирит, кубанит (рис.22), а также глаукоdot, кобальтин, медь самородная и др.

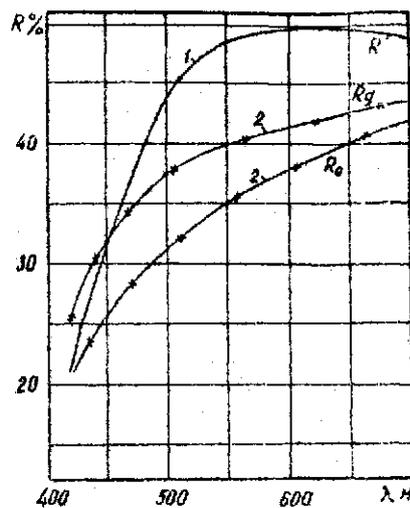


Рис.22. Спектры отражения: 1-халькопирит, 2-кубанит

Спектр отражения типа 10 очень сложный и встречается редко, например, у молибденита. К 11 и 12 типам относятся спектры отражения сложного профиля сильно-анизотропных минералов. Кривые  $R_g$  и  $R_p$  пересекаются, знак может быть положительным и отрицательным. Так, у арсенопирита кривая  $R_2$  с аномальной и  $R_1$  с нормальной дисперсией (см.рис. 20); у ковеллина (рис.23) – кривая сложного профиля с резкой дисперсией в инфракрасной области спектра, в красной крайней области (680 нм) кривые  $R_g$  и  $R_p$  пересекаются.

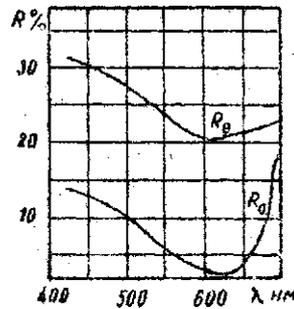


Рис.23. Спектры отражения ковеллина

В настоящее время для определения цвета минералов в отраженном свете предлагается использовать колориметрические расчеты. По спектрам отражения рассчитываются координаты цвета, численные значения цветовых величин, по которым с помощью специальных таблиц можно быстро диагностировать минералы (Чвилева и др., 1977).

2.1.4. Внутренние рефлексy. Проникновение света внутрь минерала связано с его прозрачностью и находится в обратной зависимости от абсорбции, а, следовательно, и от показателя отражения (отражательной способности). Явление отражения и частичного рассеяния света от внутренних частей (трещины спайности, пузырьки воздуха, контакты зерен) прозрачных и полупрозрачных минералов с показателями отражения не выше 40 % или явление просвечивания называют внутренними рефлексами.

Рефлексy соответствуют цвету минерала в проходящем свете или цвету его черты (порошка) и являются дополнительными цветами к оттенку минерала в отраженном свете. Так, киноварь в отраженном свете белая с голубым оттенком, а в проходящем свете – красная; внутренние рефлексy киновари тоже красные. Внутренние рефлексy есть у всех минералов, они соответствуют их истинному цвету, однако диагностическое значение имеют только цветные эффекты, характеризующие минералы с цветной чертой (кроме белой, серой и черной). Например, у пирита, халькопирита, галенита, пирротина, магнетита и других минералов с серой и черной чертой внутренних рефлексов нет.

Наблюдать внутренние рефлексy следует при косом освещении и в скрещенных николях, так как лучи, отраженные от внутренних частей, не гасятся анализатором. Более отчетливо они видны с масляной иммерсией.

Нужно помнить, что не всегда зерна минералов, имеющих внутренние рефлексy, окрашиваются в тот или иной цвет. Так, землистые агрегаты (малахит, лимонит, марганцевые минералы и др.) в косом свете окрашиваются сплошь; минералы мягкие – вдоль трещин и с периферии зерен (киноварь). Для наблюдения внутренних рефлексов у твердых минералов (гематит, вольфрамит и др.) следует поцарапать стальной иглой полированную поверхность с целью получения порошка. Цветные внутренние рефлексy – это желтые, коричневые и красные тона и только очень редко – зеленые и синие (табл.5).

Таблица 5

| Внутренние рефлексы некоторых минералов |             |              |
|---|-------------|--------------|
| <u>Желтые</u>                           |             |              |
| Лимонит                                 | Пироклор    | Монацит      |
| Гётит                                   | Рутил       | Сфалерит     |
| Аурипигмент                             | Касситерит  | Сидерит      |
| Гринокит                                |             |              |
| <u>Коричневые</u>                       |             |              |
| Вольфрамит                              | Перовскит   | Хромит       |
| Манганит                                | Касситерит  | Колумбит     |
| Браунит                                 | Пироклор    | Танталлит    |
| Уранинит                                | Рутил       | Гринокит     |
| Маггемит                                | Сфалерит    | Вюртцит      |
| Гётит                                   |             |              |
| <u>Красные</u>                          |             |              |
| Киноварь                                | Теннантит   | Лепидокрокит |
| Гематит                                 | Реальгар    | Цинкит       |
| Колумбит                                | Полибазит   | Гаусманит    |
| Танталлит                               | Пираргиррит |              |
| Куприт                                  | Прустит     |              |
| <u>Зеленые</u>                          |             |              |
| Малахит                                 | Шпинель     | Алабандин    |
| <u>Синие и голубые</u>                  |             |              |
| Азурит                                  | Анараз      |              |

Внутренние рефлексы зависят и от состава минерала. Например, маложелезистые сфалериты всегда имеют желтые внутренние рефлексы, а в сильно железистом сфалерите и в сфалерите с включениями халькопирита и пирротина внутренние рефлексы редки или вовсе отсутствуют (Кэмерон, 1966).

2.1.5. Явление анизотропии. В скрещенных николях при повороте столика микроскопа наблюдается угасание и просветление зерен анизотропных минералов через каждые  $90^\circ$ . Более четко эффект анизотропии виден с масляной иммерсией. Минералы кубической сингонии в скрещенных николях при повороте столика на  $360^\circ$  остаются одинаково темными или одинаково освещенными.

Отсутствие полной темноты при скрещенных николях связано с дефектами поляризованного света. Так, плоско-(или линейно)поляризованный свет, который вышел из поляризатора, при отражении от объекта с сильной абсорбцией (например, серебряное покрытие призматического опак-иллюминатора) становится эллиптически-поляризованным и не гасится анализатором; полной темноте не наступает, и изотропные минералы при повороте столика остаются одинаково освещенными.

Кроме того, возможны также искажения поляризованного света, связанные с отклонением краевых (наклонных) линейно-поляризованных лучей при отражении их от опак-иллюминатора и при прохождении через объектив, что приводит к азимутальной неоднородности в состоянии поляризации. Азимутальная неоднородность проявляется в том, что зерно анизотропного минерала угасает не одновременно.

При скрещенных николях некоторые анизотропные минералы (молибденит, пирротин, антимонит и др.) приобретают окраску, вызванную дисперсией показателей

преломления сечения минерала. При вращении столика резко меняется цвет минерала, например, от голубого до розового у молибденита.

В определении анизотропии помогает сходящийся свет, однако этот метод в минераграфической практике используется пока крайне ограниченно. Следует помнить, что качественная оценка анизотропии зависит еще от изготовления и установки аншлифа.

Таким образом, определения в скрещенных николях сводятся к установлению изотропности или анизотропности минерала. Среди последних можно еще выделить сильно или слабо анизотропные.

## 2.2. Механические свойства

**2.2.1. Твердость.** Одним из самых важных механических диагностических признаков является твердость минералов. Она может быть определена разными способами, так как минерал по-разному реагирует на внешние механические воздействия, в частности, царапание, сошлифовку, вдавливание.

При работе с малыми увеличениями ( $3,7\times$ ,  $9\times$ ) твердость определяется стальной иглой – метод царапания. По степени нажима на иглу устанавливается относительная твердость: минерал царапается без нажима – твердость 1–3 (по шкале Мооса), царапается с нажимом – твердость 3,5–5,5 и не царапается с нажимом – свыше 6. Это качественная характеристика твердости минералов.

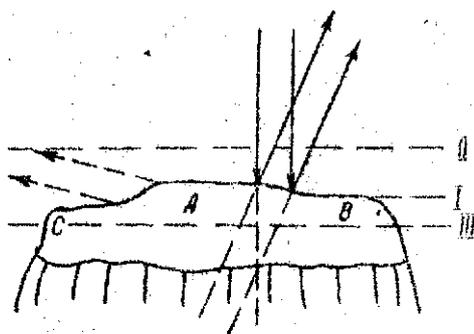
С.Б. Талмейдж предложил специальное приспособление – микросклерометр, при использовании которого мерой твердости является нагрузка в граммах. Микросклерометр представляет собой качающееся коромысло с закрепленной алмазной или корундовой иглой на конце. По коромыслу передвигается грузик. Для получения царапины, устанавливают нагрузку на острие алмазной иглы и двигают аншлиф. На полированной поверхности минерала остается царапина, ширина которой сравнивается с эталонной; в качестве таковой принимается черточка (деление) шкалы окуляр-микрометра (описание см. ниже). Талмейдж все минералы по твердости, т.е. по нагрузке на острие иглы, при которой получается царапина определенной (эталонной) ширины, объединил в семь групп, обозначив их начальными буквами латинского алфавита – А, В, С и т.д. (табл.6). Этот метод не нашел широкого применения, однако в некоторых минераграфических работах (главным образом зарубежных) можно встретить такие буквенные обозначения твердости: сфалерит – твердость средняя (С<sub>+</sub>), антимонит – твердость низкая (В), пирит – твердость высокая (F) и др.

Таблица 6

Группы твердости рудных минералов по С.Б. Талмейджу

| Обозначение твердости | Типичные минералы (эталонны) | Положение гирьки на коромысле | Давление на острие иглы, г |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Низкая                | А Аргентит                   | 0,2                           | 0,105                      |
|                       | В Галенит                    | 0,4                           | 0,210                      |
| Средняя               | С Халькопирит                | 0,7                           | 0,865                      |
|                       | D Тетраэдрит                 | 1,0                           | 0,520                      |
|                       | Е Никелин                    | 1,5                           | 0,775                      |
| Высокая               | F Магнетит                   | 2,0                           | 1,035                      |
|                       | G Ильменит                   | 3,0                           | 1,550                      |

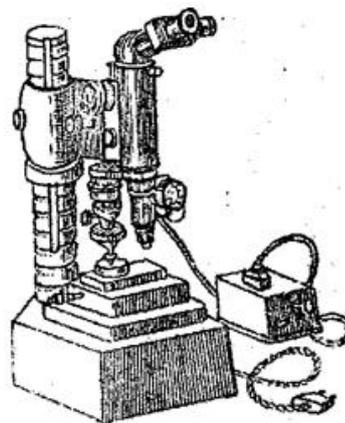
Для определения твердости мелких включений, которые видны только с большим увеличением (фронтальная линза почти касается объекта), можно пользоваться методом относительного рельефа. На границе двух минералов с близкой твердостью (разница в твердости 0,5–1 по шкале Мооса) появляется светлая полоса – световая полоска Кальба, подобная полоске Бекке, которая при подъеме тубуса микроскопа (или опускании столика) движется в сторону минерала с меньшей твердостью (с отрицательным рельефом), а при опускании тубуса – в сторону минерала с большей твердостью (с положительным рельефом; рис. 24). Светлая полоска образуется в результате наложения лучей, отраженных от горизонтальной поверхности зерен и лучей, отраженных от наклонной поверхности закругленного полировкой края более твердого минерала. Если твердость граничащих минералов резко различна (например, пирит-галенит), то вокруг минерала с низкой твердостью образуется черная кайма – тень от минерала с высокой твердостью (см.рис.24, А и С минералы). Эффект усиливается в косых лучах: И.С. Волынский рекомендует слегка ввести анализатор, оправа которого перекрывает путь параллельным лучам, а проникать будут только боковые (косые) лучи.



**Рис.24. Схема появления светлой полоски Кальба на границе минерала твердого (А) и менее твердого (В); С-мягкий минерал. I-нормальная фокусировка, II и III-фокусировка при поднятом и опущенном тубусе**

В аншлифах, изготовленных на автоматических станках, рельеф между твердыми и мягкими минералами отсутствует (безрельфные аншлифы). Чтобы получить рельеф с целью определения твердости методом относительного рельефа, достаточно обработать аншлиф на стекле с тонкими абразивами, а затем снова отполировать

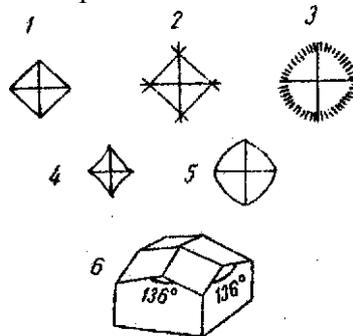
Для определения относительной твердости очень мелких зерен можно использовать абразивные штрихи (метод абразивных штрихов), всегда присутствующие при ручном изготовлении аншлифа. Штрихи обычно проходят через весь аншлиф, в отличие от трещин спайности, ограниченных только одним зерном. При выходе из мине-



**Рис.25. Микротвердомер ПМТ-3**

рала мягкого в твердый абразивный штрих затухает и расширяется – при выходе из твердого минерала в мягкий.

Метод микровдавливания. Количественное определение твердости проводится с помощью прибора ПМТ-3 (рис.25) или ПМТ-5-микротвердомеров конструкции М.М. Хрущова и Е.С. Борковича. Под нагрузкой (20,50,100 г) в исследуемый минерал вдавлируется алмазная четырехгранная пирамидка-индентор, которая оставляет след (ямку) в зерне минерала в виде квадрата с двумя диагоналями (рис.26). Впервые алмазная пирамидка была изготовлена фирмой "Виккерс", по которой получил название и сам метод – определение твердости по Виккерсу. Твердость определяется по формуле  $H(VHN) = \frac{P}{D^2}$  где VHN (Vickers Hardness Number), Н – число твердости по Виккерсу, Р – нагрузка на индентор (грамм- или килограмм-сила),  $136^\circ$  – угол между противоположными гранями пирамидки, D – диагональ квадратного отпечатка (контактная площадь в  $мм^2$ ). Таким образом, число твердости по Виккерсу есть отношение нагрузки на индентор (кгс) к площади отпечатка ( $мм^2$ ). Для получения отпечатка пригодно зерно размером 0,5–1 мм, т.е. видимое макроскопически.



**Рис.26. Форма отпечатков - 1-5 и алмазная пирамидка (индентор Виккерса) - 6. Отпечатки: 1-совершенный, 2-слабо трещиноватый, 3-трещиноватый, 4-вогнутый, 5-выпуклый**

Форма отпечатка нередко заметно отличается от идеального квадрата (см.рис.26), что можно использовать как дополнительную информацию о некоторых свойствах минералов (упругость, пластичность, хрупкость и др.) и при диагностике. Наряду с искажениями формы отпечатка, анизотропия твердости проявляется в вариациях числовых значений на разных гранях или срезах одного минерала. Многочисленные измерения микротвердости показали, что все минералы (в том числе изотропные) характеризуются анизотропией твердости в разной степени. Это сложная величина, которая зависит от кристаллографических направлений и ретикулярной плотности граней кристалла и дефектов структуры, а также агрегатного состояния минерала, состава, механических и термальных воздействий и др. Отношение наибольшей к наименьшей микротвердости конкретного минерала (погрешности измерения исключаются) представляет коэффициент анизотропии твердости (К), который всегда больше единицы: с увеличением анизотропии твердости коэффициент возрастает (Лебедева,1961). Коэффициент анизотропии твердости является величиной относительно постоянной. Эта константа минерала может быть использована как дополнительная характеристика при диагностике близких по твердости минералов (Юшко,1984).

Изменение твердости микровдавливания в зависимости от состава исследовалось на большом числе минералов, содержащих примеси или представляющих собой изоморфные ряды: сфалерит-марматит, вольфрамит-гюбнерит-ферберит, колумбит-танталит, золото-серебро и др. Разработаны некоторые методики определения приближенного состава по вариациям микротвердости, построены диаграммы состав –

твердость (Лебедева, 1977, Крейг, Воган, 1983). Установлено, что существует соотношение между твердостью и составом, силами и характером связей в минерале, которые имеют сложную природу и не всегда однозначно и правильно интерпретируются. Детальные работы по изучению закономерностей изменения микротвердости и состава должны стать важным направлением дальнейших исследований в минераграфии.

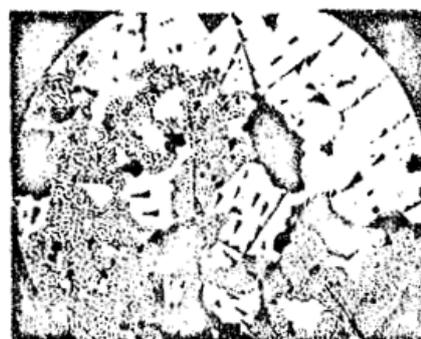
Таблица 7

**Сравнение микротвердости вдавливания и царапания (по Талмейджу) с твердостью минералов по шкале Мооса**

| Твердость по шкале Мооса | Микротвердость по методу вдавливания и рекомендуемые оптимальные нагрузки, г |         | Класс твердости по Талмейджу и эталонные минералы |
|--------------------------|--|---------|---|
| 1                        | 21   | 3–7     | A Акантит   |
| 2,5–3                    | 76   | 7–20    | B Галенит   |
| 3,5–4                    | 194  | 20–30   | C Халькопирит                                     |
| 3–4                      | 351  | 30–50   | D Тетраэдрит                                      |
| 5–5,5                    | 390  | 50–100  | E Никелин   |
| 5,5–6,5                  | 560  | 100–150 | F Магнетит  |
| 5–6                      | 600  | 150     | G Ильменит  |
| 6–7                      | 800–1100   | 150–200 |   |
| 7                        | 1100   | 150–200 |   |

Таким образом, твердость представляет собой комплексную константу, которая зависит от строения вещества (кристаллохимические параметры, состав и др.), механических свойств и не может быть полностью охарактеризована только каким-то одним способом определения, в частности, только числом микротвердости. Все физические и химические свойства минералов взаимосвязаны, изменяются пропорционально; характеристики твердости, полученные разными путями, могут дополнять друг друга (Вольинский, 1968). В табл. 7 приводится сравнение величин твердости, замеренных различными способами.

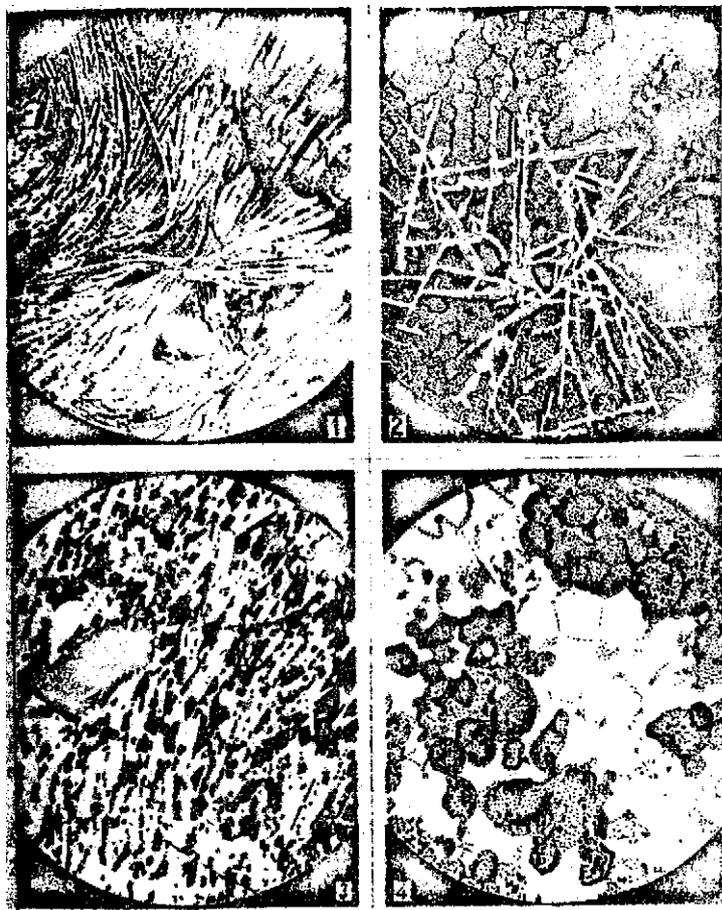
**2.2.2. Спайность.** В отраженном свете спайность не всегда видна, даже если она у минерала совершенная, например у сфалерита. Спайность – это трещины, которые при шлифовке и полировке заполняются, «залечиваются» сошлифованным материалом (порошком). Но для некоторых минералов спайность может служить диагностическим признаком. Так, галенит при изготовлении аншлифа раскалывается, выкрошивается по спайности (100), образуя черные треугольники (рис.27). Подобные формы углублений наблюдаются также у пентландита, герсдорфита, магнетита и др. Треугольной или прямоугольной, ромбообразной формы выколки образуются у минералов с призматической спайностью. Пинакоидальная спайность наблюдается в виде серии параллельных трещин.



**Рис.27. Спайность у галенита, в виде черных треугольников**

**2.2.3. Форма зерен.** В руде большинство минералов обычно не имеют кристаллографических

очертаний, однако для ряда минералов форма зерен (габитус) является дополнительным диагностическим признаком. Такие минералы как буланжерит-жемсонит, висмутин, антимонит, гематит, рутил и др. образуют удлиненные, длиннопризматические или шестоватые кристаллы. Для магнетита, кобальтина, пирита и других кубических минералов характерна обычно изометричная форма (рис. 28) Надо помнить, что аншлиф – это плоскость, на которой видны двумерные сечения зерен, а не объемные, трехмерные кристаллы или зерна. Тем не менее при описании форм минерала в аншлифе можно пользоваться принятыми в минералогии терминами: кубическая, октаэдрическая, шестоватая, игольчатая, таблитчатая и др. Понятно, что удлиненные формы могут иметь изометричные сечения (перпендикулярные оси «с»), таблитчатые кристаллы могут быть представлены лейстами (гематит, ильменит), а кубические – треугольниками, прямоугольниками, квадратами (пирит) и др. Для правильного отнесения минерала к низшей или средней категории по форме зерен, следует просмотреть ряд сечений этого минерала.



**Рис.28. Форма зерен: 1 - таблитчатые, листоватые изогнутые кристаллы гематита, собранные в сноповидные агрегаты, ув. 90, В Саяны; 2 - пластинчатые кристаллы гематита, с периферии замещенные магнетитом, ув.90, В.Саяны; 3 - шестоватые кристаллы жемсонита-буланжерита, ув.60, Дарасун; 4 - изометричные зерна магнетита, ув.90, Хакасия**

**2.2.4. Двойникование и зональность.** Очень важными диагностическими и генетическими признаками некоторых рудных минералов могут быть двойники и зональность. Двойники появляются как в результате роста, так и в результате деформаций (двойники скольжения) и метаморфизма (двойники превращения). Двойники, образо-

ванные в результате стресса, характеризуются очень тонкими двойниковыми полосами одинаковой ширины (рис.29).

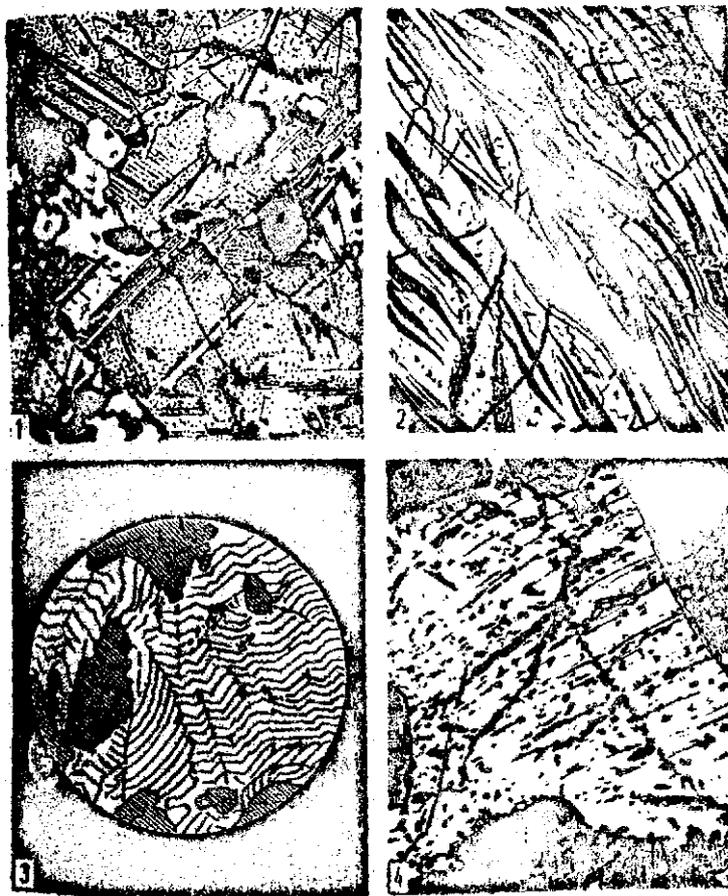
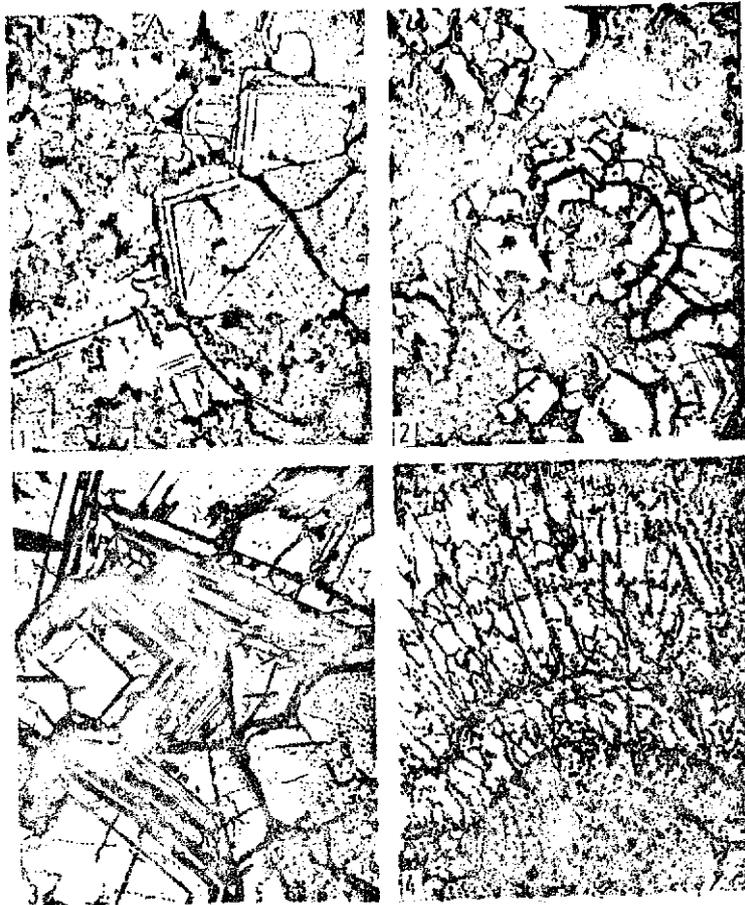


Рис. 29. Двойникование; 1 - полисинтетические двойники у сфалерита, выявленные травлением ( $KMnO_4 + H_2SO_4$ ), ув. 90; Р. Алтай; 2 - двойники смятия у пирротина в виде волнисто-линзовидных субпараллельных пластинок, николи скрещены, ув. 90, Кузнецкий Алатау; 3 и 4 - двойник у пирротина, образованные в результате стресса, ув. 90, Кузнецкий Алатау

Зональность вызывается перерывом в процессе кристаллизации, изменением состава раствора, ритмическими изменениями условий отложения минералов, распадом твердых растворов, а также раскристаллизацией коллоидов. Зоны различаются содержанием механических примесей, захваченных во время роста, пористостью, составом главных компонентов (смальтин-хлоантит), элементами-примесями и др. Часто зональность обнаруживается у таких распространенных минералов как пирит, сфалерит, магнетит, а также саффорит, кобальтин, уранинит, арсенопирит и др. Зональность можно обнаружить при одном николе, в скрещенных николях и после химического травления (рис.30).

**2.2.5. Магнитность.** Магнитными свойствами обладают немногие рудные минералы – ферримагнетики; магнетит, пирротин, самородное железо, железистая платина, кубанит и др. В практической работе магнитность минералов определяют с помощью магнитной стрелки, свободно вращающейся на острие иглы. Если в аншлифе присутствуют несколько магнитных минералов (магнетит, пирротин), то магнитность можно установить с помощью порошка минерала, полученного царапанием стальной иглой,

который будет притягиваться к подведенной к нему магнитной стрелке или к концу намагниченной стальной иглы.



**Рис.30. Зональность: 1 - пирит. Зоны роста, ув. 90, Хакасия; 2 – пирит. Зоны раскристаллизации, ув.150, Р. Алтай; 3 - магнетит, зоны роста. Зональность выявлена травлением *HF*, Ув. 400, В. Саян; 4 - магнетит. Зоны роста, ув. 90, В. Саян**

Для определения магнитности мелких включений или минералов, различающихся по магнитности (гексагональный и моноклинный пирротин), можно использовать метод магнитной порошкографии (Грабовский, Жерденко, 1963). Суспензию из магнитного порошка и мыльного раствора пипеткой наносят на полированную поверхность аншлифа. После того, как порошок осядет (экспозиция произвольная), наклоняют столик микроскопа и смывают суспензию спиртом: на магнитных минералах порошок остается, а с немагнитных смывается.

Для количественной оценки магнитности минерала можно использовать такие магнитные характеристики как магнитную восприимчивость (поведение минерала в магнитном поле), удельную намагниченность, электронную упорядоченности др.

### **2.2.6 Другие физические методы исследования рудных минералов**

1) Метод дифракции рентгеновских лучей применяется с целью расшифровки структуры, а иногда и состава минерала.

2) Электронная микроскопия позволяет определять тонкие структурные особенности минералов, так как разрешающая способность электронного микроскопа в сотни раз превышает разрешающую способность рудного микроскопа.

3) Электрические свойства минералов-полупроводников (сульфиды, сульфосоли, арсениды, некоторые оксиды и другие минералы) могут быть охарактеризованы термоэлектродвижущей силой (ТЭДС или термо-э.д.с.). Этот метод можно использовать как для диагностики минералов, так и для решения многих минералого-геохимических задач: определение элементов-примесей, некоторых типоморфных особенностей минералов, условий их образования и др.

4) Электронно-зондовый анализ дает возможность получить химический состав минерала на микробразцах, используя прозрачные шлифы или аншлифы, а также специально приготовленные шашечки (см. рис. 11).

5) Макро- и микрорадиографические методы используются для определения радиоактивности минералов, их текстурно-структурных особенностей, а также для количественной оценки явления радиоактивности.

6) Геотермометрия руд по данным газовой-жидких включений; определяется температура и природа рудообразующих флюидов.

### **2.3. Химические методы диагностики рудных минералов**

**2.3.1. Световое травление** применяется для диагностики серебра и серебряносодержащих минералов, которые от действия сильного света (вольтовой дуги) темнеют.

2.3.2. Диагностическое травление используется с целью определения минералов действием стандартных реактивов (от слабого к сильному).  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ , царская водка (ц. в.). На выбранное зерно свежестрополированной поверхности аншлифа наносят пипеткой каплю реактива так, чтобы не захватить соседних зерен другого минерала. Это возможно только в случае крупнозернистой руды. Наблюдают действие капли: возможно выделение пузырьков газа, окрашивание капли, образование осадка, заметного только после удаления капли фильтровальной бумагой. Проверяют действие на исследуемый минерал всех перечисленных реактивов от слабого к сильному. Если на минерал не действует ни один из названных стандартных реактивов, то это тоже служит диагностическим признаком. Так, на ильменит, вольфрамит, хромит стандартные реактивы не действуют (табл.8).

В настоящее время диагностическое травление перешло в разряд вспомогательных признаков.

**2.3.3. Структурное травление** применяется с целью определения внутренней структуры, анатомии минералов, действием разных реактивов разной концентрации для каждого минерала (см. табл. 8). Структурное травление следует проводить в обязательном порядке для исчерпывающей диагностики рудного минерала и получения дополнительных структурных признаков. При травлении кислотами порошок, который «заполировывает» любые трещины, в том числе трещины спайности и промежутки между зернами, легко растворяется и «проявляются» такие важные для определения минералов свойства как спайность и зернистость, т.е. границы между зернами. Можно заметить зерна, что необходимо знать при технологической переработке руд. Зональность, часто проявляющаяся у некоторых минералов после травления, помогает при их диагностике и выяснении некоторых генетических вопросов (смальтин, хлоантит, саффлорит, скуттерудит, уранинит и др.). Иногда выявляется секториальность, обусловленная различной скоростью роста граней и ребер кристаллов, двойники (см. рис.29).

## Диагностическое и структурное травление некоторых рудных минералов

| Минерал      | Диагностическое травление  | Структурное травление  |
|--------------|--|--|
| 1            | 2  | 3  |
| Антимонит    | $\text{HNO}_3$ – медленно вскипает и чернеет; $\text{KOH}$ – буреет и образуется оранжево-красный осадок. Остальные реактивы не действуют              | $\text{KOH}$ 5 % после удаления осадка выявляются полисинтет. двойники, зональное строение, сетчатая структура   |
| Арсенопирит  | $\text{HNO}_3$ – вскипает и окрашивается в коричневый цвет. Остальные реактивы не действуют  | $\text{H}_2\text{O}_2, \text{KMnO}_4 + \text{KOH}$ (10-30-60 с) – выявляются веретенообразные двойники роста, пластинчатые двойники скольжения, тройники, зональность  |
| Аурипигмент  | $\text{KCN}$ – быстро темнеет; $\text{KOH}$ – быстро буреет и чернеет, $\text{FeCl}_2$ – желтая кайма легко стирается. Остальные реактивы не действуют | Не проводится  |
| Бертьерит    | В отличие от антимонита стандартные реактивы не действуют  |  |
| Борнит       | $\text{KOH}$ – слабый коричневый налет легко стирается; $\text{KCN}$ – вскипает, становится коричнево-желтым   | Хромовая кислота, J-KJ (1:2) – двойники роста и превращения с формой олеандровых листьев. Структуры распада твердого раствора с халькопиритом, мirmekиты с халькозином |
| Браунит      | Стандартные реактивы не действуют  | $\text{SnCl}$ – слабо действует; $\text{HF}$ – границы зерен   |
| Брейтгауптит | $\text{HNO}_3$ и ц.в. – чернеет и иризирует; $\text{FeCl}_3$ – иризирует   | $\text{HBr}$ или $\text{HNO}_3$ (конц.) зональная структура  |
| Буланжерит   | $\text{HNO}_3$ – вскипает, буреет, затем чернеет, от паров буреет  | $\text{HNO}_3$ – выявляются детали структуры   |
| Бурнонит     | От паров царской водки чернеет   | Пары $\text{HBr}$ (2–5с) – полисинтет. двойники и паркетное строение – важный диагностический признак  |
| Валлериит    | $\text{KOH}$ – чернеет   | $\text{KMnO}_4 + \text{KOH}$ – двойники, структуры распада в халькопирите и пентландите  |
| Висмутин     | $\text{HNO}_3$ – слабо вскипает и мгновенно чернеет; $\text{HCl}$ – иризирующий налет; $\text{HgCl}_2$ – коричневый налет                              | $\text{HNO}_3$ – быстро действует, выявляет спайность, двойники смятия, мirmekиты с галенитом; пластинки эмплектита-распад твердого раствора                           |
| Вольфрамит   | Реактивы не действуют  |  |

| 1          | 2  | 3   |
|------------|--|---|
| Галенит    | HCl – слабое коричневое окрашивание; иногда чернеет, иногда вскипает; FeCl <sub>3</sub> – иризирующий налет  | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NH <sub>4</sub> OH (30–40с.) – спайность, двойники скольжения, трансляции, зональность. У низкотемпературного галенита – границы зерен, скелеты роста |
| Гаусманит  | Пары HNO <sub>3</sub> – тускнеет   | HF конц., H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30с) – спайность, пластинчатые двойники (как у плагиоклаза)  |
| Гематит    | Реактивы не действуют  | HF, HCl + Sn металлич.-двойники роста и давления; структуры распада с ильменитом и магнетитом   |
| Герсдорфит | HNO <sub>3</sub> – бурет и чернеет   | Царская водка KMnO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> конц., – зональность, деформации, галенитовая спайность  |
| Гессит     | HNO <sub>3</sub> – быстро бурет; HCl – иногда бурет; KCN – медленно бурет или не действует; FeCl <sub>3</sub> – иризирует и темнеет; HgCl <sub>2</sub> – бурет | Световое травление HNO <sub>3</sub> выявляет пластинчатое строение в скрещенных николях   |
| Гётит      | Стандартные реактивы не действуют  | SnCl <sub>2</sub> , HCl – выявляют концентрически-зональное строение, рисунок пальмовых веток   |
| Джемсонит  | HNO <sub>3</sub> – слабо вскипает, бурет, чернеет  | HNO <sub>3</sub> – выявляет спайность, пластинчатые двойники, перпендикулярные удлинению  |
| Золото     | KCN – медленно чернеет   | CrO <sub>3</sub> + HCl, HNO <sub>3</sub> – царская водка; царская водка-двойники, пластины роста по (III) часто изогнуты, сростки   |
| Ильменит   | Стандартные реактивы не действуют  | HF + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HF – двойниковые пластинки и решетки гематита, иголки рутила-структуры распада. Мирмекиты: магнетит, шпинель, пирротин                          |
| Кобальтин  | Стандартные реактивы не действуют  | KMnO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – границы зерен, двойники  |
| Куприт     | HNO <sub>3</sub> – вскипает, появляется металлич. медь; HCl – сразу чернеет; FeCl <sub>3</sub> – темный осадок   | HNO <sub>3</sub> – зональность  |
| Кубанит    | HNO <sub>3</sub> – коричневый налет  | K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – пластинки в халькопирите, иногда в пирротине-структуры распада                                       |

| 1               | 2  | 3  |
|-----------------|--|--|
| Магнетит        | HCl – иногда бурет   | HCl конц.(2–5с) НВг – двойники по (III) тончайшие пластинки – двойники скольжения, спайность, зональность, структуры распада с гематитом, ильменитом, шпинелью   |
| Марказит        | HNO <sub>3</sub> и ц. в. – слабое вскипание и коричневое окрашивание   | KMnO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – двойники по (101): единичные крупные пластинки, тончайшие пластинки и все переходы между ними – отличие от пирита   |
| Маухерит        | HNO <sub>3</sub> – вскипает, быстро чернеет  | KMnO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> или H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> (1:1) – лучисто-табл. строение, тонкие двойники, зональн.   |
| Медь самородная | HNO <sub>3</sub> – вскипает, чернеет; KCN – медленно бурет; FeCl <sub>3</sub> – быстро темнеет, чернеет, HgCl <sub>2</sub> иризирует и бурет | NH <sub>4</sub> OH + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 1ч. 50 % CrO <sub>3</sub> + HCl 1ч. конц. (10–20с). Промыть HCl для удаления налета. Выявляются пластинки (толстые или тонкие) двойниковая – результат роста и давления, при одновременной трансляции |
| Миллерит        | FeCl <sub>3</sub> – слабо коричневое окрашивание   | HNO <sub>3</sub> конц., ц. в., пары брома-спайность, зональность, двойники давления  |
| Молибденит      | Стандартные реактивы не действуют  |  |
| Никелин         | HNO <sub>3</sub> – вскипает, темнеет, от паров-налет; FeCl <sub>3</sub> – бурет; HgCl <sub>2</sub> – коричневое окрашивание                  |  |
| Пентландит      | HNO <sub>3</sub> – светло-желто-бурый, стирающийся налет   | Надежного реактива нет   |
| Пираргит        | KCN – коричневая иризирующая пленка, после омывания водой становится оранжево-желтой, FeCl <sub>3</sub> , HgCl <sub>2</sub> – бурет          | Световое травление (10мин), HJ – пластинчатые двойники давления, зональность, катаклиз   |
| Прустит         | KCN действует, слабо; FeCl <sub>3</sub> (25 %) – значительно сильнее   | Световое травление-зональность, мирмекиты с галенитом  |
| Пирит           | HNO <sub>3</sub> – слабое коричневое окрашивание   | KMnO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – зональность, спайность, катаклиз  |

| 1                       | 2  | 3   |
|-------------------------|--|---|
| Пирротин                | $\text{HNO}_3$ , ц. в. – очень слабое окрашивание; $\text{KOH}$ – иризирующая пленка   | $\text{HJ}$ – двойники давления иногда зональность, деформация смятия: волнисто-линзообразные субпараллельные пластинки   |
| Раммельсбергит          | $\text{HNO}_3$ – легко травится, вскипает $\text{FeCl}_3$ – темно-коричневый налет; $\text{HgCl}_2$ – налет  | Световое травление. $\text{HNO}_3$ – зональное строение особенно на периферии зерен. $\text{FeCl}_3$ – тонкопластинчатые двойники   |
| Реальгар<br>Саффорит    | $\text{HNO}_3$ – вскипает; $\text{KOH}$ – чернеет.<br>$\text{HNO}_3$ – медленно вскипает, образуются мельчайшие белые октаэдры; $\text{FeCl}_3$ – буреет | $\text{HNO}_3$ конц. (15с) – очень характерны пластинчатые двойники, зональное строение игольчатые спиралевидные тройники-«саффоритовые звездочки»  |
| Серебро самородное      | $\text{HNO}_3$ – слабо вскипает и чернеет; $\text{FeCl}_3$ – иризирует и чернеет; $\text{HgCl}_2$ – серый иризирующий налет                              | Световое травление. $\text{HNO}_3$ , $\text{CrO}_3 + \text{HNO}_3$ (I–5с) – пластинчатые двойники, зональность  |
| Станнин                 | $\text{HNO}_3$ и $\text{HCl}$ -иризирует   | $\text{KMnO}_4 + \text{KOH}$ (3–10с) – двойники роста по (III), давления, превращения, паркетные по (001), микроклиновые; зональность. Структуры распада халькопирита и сфалерита   |
| Сфалерит                | $\text{HNO}_3$ – слабое побурение  | $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{HJ}$ (15с), пары ц.в. – полисинтетические двойники в неперекристаллизованных зернах, пластинчатые двойники скольжения и трансляции   |
| Теннантит<br>Тетраэдрит | Стандартные реактивы не действуют  | $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ , $4\text{cm}^3 \text{HNO}_3 + 5–12 \text{cm}^3 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{HCl}$ , $\text{KMnO}_4 + \text{KOH} + 6\% \text{H}_2\text{O}_2$ (10–60с) – зональное строение, деформации |
| Уранинит                | $\text{HNO}_3$ – неравномерное окрашивание в коричневый цвет; $\text{FeCl}_3$ – медленно становится коричнево-серым                                      | $\text{HNO}_3$ конц., $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ двойники по шпинелевому закону. Очень распространена зональность  |

| 1           | 2  | 3   |
|-------------|--|---|
| Халькозин   | $\text{HNO}_3$ , $\text{FeCl}_3$ – вскипает, становится синим; $\text{KCN}$ – быстро чернеет; $\text{HgCl}_2$ – слабо затравливается | $\text{HNO}_3$ конц. (3–10с.) $\text{KCN}$ (1:5)-спайность и отдельные пластинки-параморфозы.   |
| Халькопирит | Стандартные реакции не действуют   | $\text{KMnO}_4 + \text{KOH}$ , пары ц.в., 2,5ч, $\text{HNO}_3$ конц. + 4ч $\text{HCl}$ конц. + $\text{KClO}_3 + 10$ ч. воды – двойники роста и давления пластинчатые, решетчатые, ступенчатые, лейстовидные, ланцетовидные, «олеандровый лист»; деформации; структуры распада – звездочки (скелеты) сфалерита |
| Хромит      | Стандартные реакции не действуют   |   |

**2.3.4. Метод отпечатков** является качественным химическим методом и применяется с целью уточнения состава минерала. Отпечатки получают на фотобумаге заранее отфиксированной (для удаления солей серебра), высушенной и нарезанной на кусочки по размеру аншлифа. На сухую желатиновую поверхность фотобумаги наносят реактив-растворитель, подобранный для каждого минерала, определенной концентрации (табл.9).

Таблица 9

**Качественные химические испытания по методу отпечатков на некоторые элементы**

| Реактив-растворитель  | Реактив-проявитель  | Результат (окрашив.)                | Минералы   |
|---|---|-------------------------------------|--|
| <u>Реакции на железо</u>  |   |                                     |  |
| $\text{HNO}_3$ (1:1) 1–2 мин  | $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5 %<br>$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5%                       | Синее                               | Арсенопирит<br>Марказит<br>Пентландит<br>Пирит<br>Пирротин |
| Предварительно обработать полированную поверхность парами царской водки $\text{HCl}$ (1:1), 1–2 мин | $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  | Синее                               | Халькопирит  |
| $\text{HCl}$ конц., 2 мин   | $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5 %<br>$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 5 %<br>$\text{KCN}$ 20 % | Синее<br>Синее<br>Коричнево-красное | Магнетит<br>Гематит  |
| $\text{HNO}_3$ (1:1)  | $\text{KCN}$  | Коричнево-красный                   | Пирит  |
| $\text{HNO}_3$ (1:20), 2 мин  | $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  | Синее                               | Борнит<br>Леллингит  |

| <u>Реакции на медь</u>  |  |   |   |
|---|--|---|---|
| Предварительно протравить парами ц.в.<br>NH <sub>4</sub> OH 10 %, 2 мин | Рубеановая кислота 1%  | Серо-зеленое                                      | Теннантит<br>Тетраэдрит<br>Халькопирит                          |
| NH <sub>4</sub> OH 10%, 2 мин   | — " —  | — " —   | Борнит<br>Куприт  |
| HNO <sub>3</sub> (1:20), 2 мин  | K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Розово-коричневой                                 | Куприт  |
| <u>Реакции на кобальт</u>   |  |   |   |
| HNO <sub>3</sub> (1:1) 1-2 мин  | K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Красно-бурое                                      | Саффлорит   |
| HNO <sub>3</sub> (1:20)   | Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 1 %<br>ртутно-родановая соль | Голубое   | Саффлорит<br>Смальтин   |
| HNO <sub>3</sub> (1:1)  | α-нитрово-β-нафтол   | Кирпично-красное                                  | Саффлорит   |
| HNO <sub>3</sub> (1:1)  | Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 1 %<br>ртутно-родановая соль | Розово-фиолетовое                                 | Глаукодот   |
| HNO <sub>3</sub> (1:1) 2 мин  | Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 1 %<br>ртутно-родановая соль | Синее   | Линнеит   |
| HNO <sub>3</sub> (1:1) 2 мин  | K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>                             | Оранжевое   | Линнеит   |
| Уксусная кислота  | α-нитрово-β-нафтол   | Кирпично-красное                                  | Линнеит   |
| HNO <sub>3</sub> (1:20) I мин   | K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Коричнево-красный                                 | Шмальтин  |
| <u>Реакции на марганец</u>  |  |   |   |
| HCl (1:1),<br>HNO <sub>3</sub> (1:1) 1-2 мин                            | K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Буро-красное                                      | Алабандин   |
| HNO <sub>3</sub> конц. и (1:1) 2 мин                                    | K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Красно-бурое, при обработке KOH – буро-коричневый | Браунит   |
| HNO <sub>3</sub> (1:1) 2 мин  | K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Кирпично-красное                                  | Гаусманит   |
| HNO <sub>3</sub> (1:1), HCl конц., 2-3 мин.                             | K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Оранжево-бурое                                    | Манганит  |
| Уксуснокислый бензидин  | Прямой отпечаток   | Синее   | Пирролизит  |
| HNO <sub>3</sub> (1:1), 1-2 мин   | K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> 5 %                         | Оранжевое   | Пирролизит  |
| <u>Реакции на висмут</u>  |  |   |   |
| HCl (1:1), 1-2 мин  | Тиомочевина 10%<br>Хинин+KJ 5%<br>CsCl 10 % + 5 %              | Желтое<br>Оранжевое<br>Красное                    | Тетрадимит<br>Висмутин<br>Висмутин<br>Висмут самор.<br>Висмутин |

| <u>Реакции на мышьяк</u>  |  |                                    |   |
|---|--|------------------------------------|---|
| 4ч. $\text{NH}_4\text{OH}$ 25 % +<br>1ч. $\text{H}_2\text{O}_2$ 10 %,<br>2–3 мин.   | $\text{AgNO}_3$ 5 %  | Желто-коричневое<br>Коричневое     | Арсенопирит   |
| — " —   | $\text{AgNO}_3$ 1–2 %  | Коричневое<br>Шоколадно-коричневое | Аурипигмент<br>Реальгар                               |
| <u>Реакции на свинец</u>  |  |                                    |   |
| $\text{HNO}_3$ конц.  | KJ 5 %   | Желтое                             | Буланжерит<br>Бурнонит<br>Галенит                     |
| KJ  | Прямой отпечаток   | Желтое                             | Буланжерит<br>Галенит                                 |
| $\text{HNO}_3$ (1:1)  | KJ 5 % + $\text{H}_2\text{SO}_4$ (1:10)  | Желтое                             | Джемсонит   |
| <u>Реакции на теллур</u>  |  |                                    |   |
| HCl конц. или (1:1),<br>2 мин.  | $\text{CsCl}$ 10 % + 5 %   | Черное                             | Гессит<br>Тетрадимит                                  |
| <u>Реакция на титан</u>   |  |                                    |   |
| Предварительно обработать $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ до получения серой пленки.<br>$\text{H}_2\text{SO}_4$ (1:4), 2 мин | Хромовотроповая кислота  | Красное                            | Ильменит  |
| <u>Реакции на молибден</u>  |  |                                    |   |
| Предварительно обработать $\text{KMnO}_4 + \text{KOH}$ до появления пленки и промыть водой, $\text{HNO}_3$ (1:20) 1–2 мин.                  | $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$<br>Ксантогенат калия  | Коричневое<br>Малиновое            | Молибденит<br>Молибденит                              |
| <u>Реакции на цинк</u>  |  |                                    |   |
| Предварительно протравить парами ц.в.<br>$\text{HNO}_3$ (1:1)+HCl конц.,<br>1–2 мин   | $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1 % + ртутно-родановая соль<br>$\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 20% + ртутно-родановая соль | Сине-фиолетовое<br>Голубое         | Сфалерит<br>Сфалерит                                  |
| <u>Реакция на уран</u>  |  |                                    |   |
| $\text{HNO}_3$ (1:1), 1–2 мин.  | $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$   | Шоколадно-коричневое               | Уранинит  |
| <u>Реакции на никель</u>  |  |                                    |   |
| $\text{HNO}_3$ (1:20), 2 мин.   | Рубеановая кислота + $\text{NH}_4\text{OH}$ 10 %   | Сине-фиолетовой                    | Брейтгауптит<br>Раммельсбергит                        |
| $\text{HNO}_3$ (1:20), 2 мин.   | Диметилглиоксим + $\text{NH}_4\text{OH}$ 10 %  | Малиновое                          | Брейтгауптит<br>Маухерит<br>Никелин<br>Раммельсбергит |
| $\text{HNO}_3$ (1:1), 2 мин.  | Диметилглиоксим + $\text{NH}_4\text{OH}$ 10 %  | Малиновое                          | Геродорфит<br>Миллерит<br>Пентландит                  |

|                               |   |                   |                        |
|-------------------------------|---|-------------------|------------------------|
| $\text{HNO}_3$ (1:20), 2 мин. | Рубеановая кислота + $\text{NH}_4\text{OH}$<br>10 % | Розово-фиолетовое | Маухерит<br>Никелин    |
| $\text{HNO}_3$ (1:1)          | Рубеановая кислота + $\text{NH}_4\text{OH}$<br>10 % | Розово-фиолетовое | Миллерит<br>Пентландит |

Излишки реактива снимают фильтром и затем влажную бумагу желатиновой стороной накрывают на весь аншлиф или только на его часть, прижимают прессом и оставляют на 1–2 мин. После частичного растворения минерала, бумагу снимают и на желатиновый слой наносят каплю реактива-проявителя. Реактивы-проявители – это соли, подобранные таким образом, чтобы в результате реакции на тот или иной элемент, получилась новая соль, дающая цветной отпечаток на фотобумаге. Излишки реактива следует убрать фильтровальной бумагой или смыть водой, высушить и приложить к описанию аншлифа как документ.

### **2.3.5 . Качественные реакции на отдельные элементы**

а) Кристаллоскопический анализ проводят на предметном стекле, куда переносят порошок исследуемого минерала. Действуя реактивами растворителем и проявителем, получают на стекле цветную соль, или осадок, который исследуется под микроскопом (метод разработан М. Шортом). Этот анализ можно рекомендовать для обнаружения мышьяка, сурьмы, серы, фосфора, свинца, серебра, олова.

б) Капельный анализ проводится на фильтровальной бумаге, на которую наносится капля предварительно растворенного минерала. Находящиеся в растворе элементы абсорбируются, разделяются фильтровальной бумагой и при реакции с реактивом-проявителем обнаруживаются в виде цветного пятна или кольца (цинк, свинец, никель, железо, молибден, медь, уран).

в) Пленочный анализ – образование цветных пленок на поверхности минералов в результате обменных химических реакций. Этот метод широко применяется с целью диагностики, площадного распределения и взаимоотношений карбонатов и некоторых других минералов.

г) Фазовый минералогический анализ руд проводится на фотобумаге по методу отпечатка с помощью реактивов растворителя и проявителя. Фазовый химический анализ помогает установить минеральные формы химических элементов, когда один и тот же элемент присутствует в разных минералах в одном штуфе или аншлифе. Подбирают реактив-растворитель для каждого минерала и, начиная с реактива слабой концентрации, последовательно получают отпечатки. На бумаге поочередно обозначаются площади распространения отдельных минералов, содержащих один какой-то элемент. Так можно определить площади распространения минералов в одном аншлифе, содержащих свинец (галенит, англезит, церуссит, ванадинит, вульфенит, плюмбоярозит), цинк (сфалерит, смитсонит, монгеймит, каламин, гидроцинкит, аурихальцит), меди (борнит, халькантит, малахит) и др. (Юшко, 1984).

### 3. КОЛИЧЕСТВЕННО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ ПОДСЧЕТ И ЗАМЕРЫ ЗЕРЕН

#### 3.1. Определение размеров зерен

Размер зерна определяется по шкале в окуляре длиной 1 см, разделенной на сто частей (окуляр-микрометр). Предварительно нужно определить цену деления шкалы с помощью объект-микрометра, шкала которого длиной 2 мм разделена на 200 частей (рис. 31).

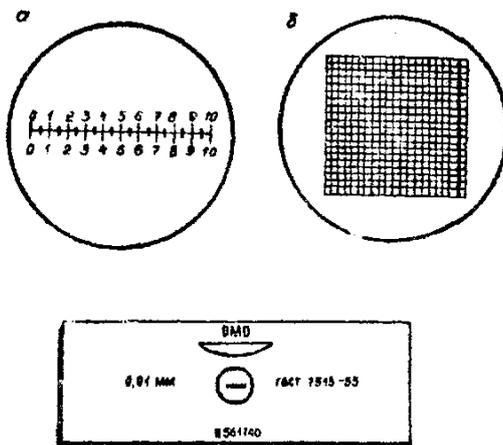


Рис.31.Объект-микрометр и окуляр-микрометр со шкалой (а) и с сеточкой (б)

Желательно определить цену деления шкалы окуляр-микрометра для каждого объектива микроскопа. Объект-микрометр следует положить на столик микроскопа, совместить его со шкалой окуляр-микрометра и вычислить цену деления. Более точные измерения можно провести, используя винтовой окуляр-микрометр, описанный С.А. Юшко (1984).

#### 3.2.Определение количественных соотношений рудных минералов в породе

**3.2.1. Площадной метод.** Подсчет проводится с помощью окуляра-сеточки, имеющей 400 квадратов, разделенных жирными линиями на четыре части по 100 квадратов (см. рис 31). Часть аншлифа, которая подлежит подсчету, обводится цветной тушью и плотно (без зазоров) последовательно покрывается сеточкой. Просмотрев первое поле зрения, подсчитывают количество клеточек, приходящихся на каждый минерал (рудный и нерудный). Части клеточек, занятые одним и тем же минералом, объединяют в целые на глаз. Затем с помощью салазок-препаратоводителя (рис. 32) передвигают аншлиф вперед таким образом, чтобы следующий квадрат явился продолжением предыдущего.

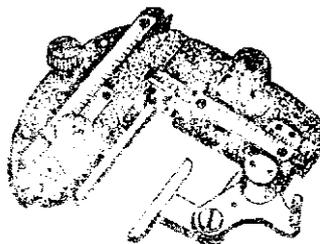


Рис.32. Салазки-препаратоводитель

Снова подсчитывают клеточки, приходящиеся на каждый минерал и так до конца первой линии. После этого проходят поля следующих линий, пока не покроют сеточкой всю намеченную площадь аншлифа (желательно просчитать не менее 10–20 полей). Затем суммируют клеточки, приходящиеся на один, на второй и так далее минералы и вычисляют площадь каждого минерала, принимая всю замеренную площадь за 100 %. В основе метода лежит допущение: площади пропорциональны объемам.

Метод рекомендуется для равномернозернистой руды.

**3.2.2. Линейный метод.** Проводится измерение поперечника зерен по шкале окуляр-микрометра (в делениях шкалы) при допущении, что поперечники зерен при большом числе замеров пропорциональны площадям, а площади – объемам, выбранная для подсчета часть аншлифа покрывается линиями, расстояния между которыми принимаются равными среднему сечению зерна. Пройдя все поля вдоль одной линии и замерив длину сечения всех встреченных минералов (в том числе нерудных), передвигают салазки на следующую линию и снова проходят её, в каждом поле замеряя по шкале поперечники всех зерен. Рекомендуется пройти 10–20 полей. Затем суммируют длину поперечников зерен в каждом поле, а всю длину линий по полям принимают за 100%. Таким образом находят процентное содержание каждого минерала в руде, включая и нерудные минералы. Метод может быть рекомендован как для равномернозернистой, так и неравномернозернистой руды.

Для подсчета можно пользоваться также интеграционным столиком конструкции Андина.

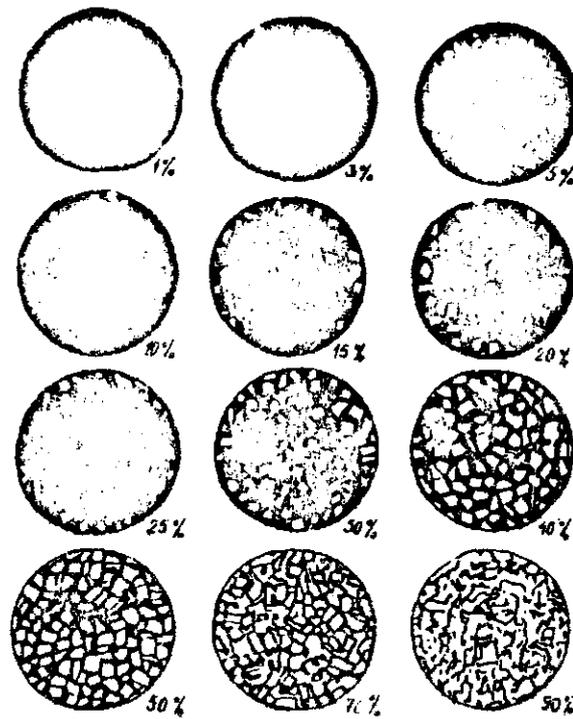
**3.2.3. Точечный метод.** А.А. Глаголевым был предложен точечный метод, в основе которого лежит допущение: соотношение чисел точек (~ порядка 1000) может быть приравнено к соотношению суммарных площадей-сечений тех или иных минералов и суммарных объемов соответствующих минералов в аншлифе.

Передвижение аншлифа проводится с помощью салазок скачками на средний диаметр сечения по одной линии и регистрируется только тот минерал, который попал в крест нитей. Затем проходят вторую линию, отстоящую от первой на средний диаметр сечения зерен, и снова фиксируют минералы, оказавшиеся в данный момент в перекрестье. Когда замеры проведены по всему аншлифу, подсчитывают число точек, приходящихся на каждый минерал от общего числа точек, принятого за 100%. Точечный метод лучше проводить с помощью пуш-интегратора, позволяющего автоматически передвигать и регистрировать минералы.

**3.2.4. Метод стандартного препарата (шаблона).** С.А. Вахромеевым рекомендован метод сравнения с эталонами, за которые приняты черные кружки с нанесенными на них белыми простыми фигурами (рис.33). Ошибка в определении при некотором навыке составляет 5 %.

## 4. СТРУКТУРЫ РУД

Структура – строение минерального агрегата, характеризующееся размерами, формой и взаимоотношениями зерен одного или нескольких минералов. Морфологической единицей структуры принято считать минеральное зерно (индивид). Текстура – строение руды в целом (в пространстве), характеризующееся размерами, формой и взаимоотношениями минеральных агрегатов. Морфологической единицей текстуры принято считать минеральный агрегат.



**Рис.33. Шаблоны приближенного количественного определения рудных минералов в аншлифе (по О.А. Вахромееву)**

В практической работе структуры изучают в основном под микроскопом, а текстуры макроскопически, однако различают микротекстуры и макроструктуры. Ниже будут рассмотрены только структуры руд.

Руды, как и горные породы, образуются при различных геологических и физико-химических условиях, накладывающих на них свои отпечатки. Те или иные процессы, которые приводят к различным взаимоотношениям минералов определенной парагенетической ассоциации, характеризуют генетический тип руд. Под парагенетической ассоциацией понимают совместное выделение (и сосуществование) минералов при определенных физико-химических условиях. В каждом генетическом типе структур есть свои морфологические виды – рисунки, узоры, часто однозначно характеризующие условия образования, последовательность появления минералов и, следовательно, генетический тип руд. Иногда узоры повторяются, так как разные процессы, вызванные действием различных факторов, могут привести к образованию одинаковых рисунков или узоров, определяющих морфологические виды.

К морфологическим признакам относятся форма, размер, строение зерен, особенности границ срастания, включения, замещения. Форма: полностью или частично ограниченные зерна, скелетные (рост или растворение), реликтовые, обломочные, тельца распада твердого раствора, коллоидные частицы и др. Размеры зерен находятся в зависимости от линейной скорости роста минеральных индивидов и от условий их формирования. Так, резкое падение температуры и давления приводит к образованию мелкозернистых агрегатов. Различают мелко-(тонко), средне- и крупнозернистые агрегаты с размерами зерен соответственно от долей миллиметра до первых сантиметров. Строение зерен может быть как однородное, так и неоднородное (зональность, двойники, микровключения и др.). Границы срастания рудных минералов между собой и с нерудными необходимо знать для целей эффективного дробления руды на первой стадии её обогащения. Границы могут быть ровные, прямолинейные, зубчатые, искривленные с частичным или глубоким проникновением зерен друг в друга и др.

Не всегда просто расшифровать сложные рисунки, а, следовательно, и определить процесс рудообразования. Задача исследователя усложняется еще и тем, что руды гораздо сильнее подвержены физико-химическим изменениям, чем горные породы. Нередко в пределах одного штуфа, а часто и аншлифа можно встретить различные морфологические виды и генетические типы руд. Цель исследования – найти надежные (однозначные) признаки или критерии, характеризующие так же однозначно генетический тип, а, следовательно, и парагенезис минералов. Определение структур важно еще и для технологического процесса – обогащения руды.

#### **4.1. Генетическая классификация структур руд**

Первая классификация структур и текстур руд была дана И.Ф. Григорьевым в 1927 г. и дополнена А.Г. Бетехтиным (1934). Изучением структур и текстур руд занимались С.А. Вахромеев (1952), Ф.Н. Шахов (1941, 1961), А.Г. Бетехтин, А.Д. Генкин, А.А. Филимонов, Т.Н. Шадлун (1958, 1964), Д.П. Григорьев (1961), С.М. Талдыкин и др. (1954), И.П. Исаенко (1983), С.А. Юшко (1984) и др. В настоящее время появились монографии и атласы текстур и структур руд, посвященные характеристике различных руд, генетических типов и месторождений Советского Союза: полиметаллов (1957); железных (1970), колчеданных (1984), медно-никелевых (1973) и других руд. Из зарубежных работ большую ценность представляет монография П. Рамдора (1962), где наряду с детальным описанием оптических и других свойств рудных минералов, обращается внимание на минеральные сростания и строение руды в целом. Ниже приводится генетическая классификация структур руд. Предлагается различать такие генетические типы структур:

- структуры кристаллизации;
- структуры распада твердых растворов;
- метасоматические и метаморфические структуры;
- коллоидные структуры;
- структуры замещения;
- структуры дробления (табл.10).

##### **4.1.2. Структуры кристаллизации**

Руды образуются в результате непосредственной кристаллизации из расплава или из водного раствора при понижении температуры, давления, изменении концентрации и характера раствора (расплава), гравитационной дифференциации и др.

В генетическом типе кристаллизации возможны следующие основные морфологические виды, описывающие форму, размеры и сочетания зерен или кристаллов как рудных, так и нерудных минералов.

1) Панидиаморфнозернистая (эвгедральная) структура. Моно- или полиминеральная руда представлена кристаллами. Все сечения минералов различных сингоний имеют четкие кристаллографические очертания (рис. 34). Рост минералов происходил либо в силикатных расплавах, либо при отложении из гидротерм в свободном пространстве (полости, трещины) при медленном понижении температуры. Отложение минералов в открытых трещинах приводит к образованию гребенчатых, крустифицированных (симметрично и ритмично полосчатых) текстур, друз, щеток и др. Для магматогенных руд возможны массивные текстуры (рудный минерал преобладает над нерудным), вкрапленные, пятнистые (для редких зерен и их скоплений), полосчатые.

## Классификация структур руд

| Первичные структуры                     | Вторичные структуры       |  |                          |               |                                 |
|---|---------------------------|--|--------------------------|---------------|---------------------------------|
| Генетические типы структур              |                           |  |                          |               |                                 |
| Кристаллизации                          | Распада твердого раствора | Метаморфических и метасоматических процессов | Метаколлоидные           | Замещения     | Дробления                       |
| Зернистые                               |                           | Мета- или бластзернистые                     |                          | Зернистые     | Кластические и катакластические |
| Морфологические виды структур (рисунки) |                           |  |                          |               |                                 |
| Панидиоморфнозернистая                  | Эмульсионная              | Панидиоморфно-бластзернистая                 | Сферолитовая             | Коррозионная  | Катакластическая                |
| Гипидиоморфнозернистая                  | Пластинчатая              | Гипидиоморфно-бластзернистая                 | Радиально-лучистая       | Прожилковая   | Кластическая                    |
| Аллоτριоморфнозернистая                 | Решетчатая                | Аллоτριоморфно-бластзернистая                | Концентрическая          | Нитевидная    | Порфиروкластическая             |
| Порфировая                              | Графическая               | Аллоτριоморфно-бластзернистая                | Концентрически-зональная | Пересечений   | Гранокластическая               |
| Пойкиловая                              | Петельчатая               | Порфиробластовая                             | Почковидная              | Сетчатая      | Ориентированнокластическая      |
| Графическая                             |                           | Пойкилобластовая                             | Колломорфная             | Петельчатая   | Раскрошечная                    |
| Коррозионная                            |                           | Скелетная                                    |                          | Каемочная     | Смятия                          |
| Сидеронитовая                           |                           | Ориентированно-бластическая                  |                          | Островная     |                                 |
| Нодулярная                              |                           |  |                          | Скелетная     |                                 |
|   |                           |  |                          | Псевдоморфная |                                 |

2) Гипидиоморфнозернистая структура. Рудные агрегаты одного или нескольких минералов наряду с идиоморфными формами образуют выделения без кристаллографических ограничений.

3) Аллоотриоморфнозернистая (ангедральная) структура. Зерна рудных минералов без следов кристаллографических форм (рис. 34–3).

Эти три термина (панидиоморфно-, гипидиоморфно- и аллотриоморфнозернистая) характеризуют форму зерен, которая является составной частью структуры. Если минералы обладают одинаковой кристаллизационной способностью (число зародышей в единице объема), силой кристаллизации (способностью образования кристаллов), тогда форма может явиться признаком порядка выделения минералов. Например, пирит, арсенопирит, магнетит имеют одинаковую силу кристаллизации и, следовательно, минерал, имеющий более идеальную форму, выделился раньше, чем другие два с гип- и аллотриоморфной структурой. Если минералы имеют разную кристаллизационную способность (пирит, халькопирит), то этот признак (только этот!) не может явиться признаком порядка выделения этих двух минералов.

4) Порфировая структура. Крупные кристаллы или зерна одного рудного минерала включены в более мелкий агрегат зерен другого рудного минерала. Такой рисунок указывает на более раннее появление крупных зерен. Границы зерен более ранних включений обычно коррозионные (рис.34–4). Если крупные зерна или кристаллы (агрегаты) рудного минерала рассеяны в массе нерудного, такие взаимоотношения минералов характеризуют вкрапленную и пятнистую текстуру, а структура в данном случае определяется только формой и размерами рудных зерен. Рудные вкрапленники могут образоваться одновременно с нерудным минералом, позже или раньше его.

5) Пойкиловая (пойкилитовая) структура. Мелкие беспорядочно ориентированные кристаллы или зерна одного рудного минерала включены в крупные кристаллы или зерна другого рудного минерала. Мелкие зерна (включения) появились раньше (рис.35–1,2).

6) Графическая, эвтектоидная структура (микротекстура). Эта структура обусловлена прорастанием минералов подобно структуре письменного гранита. Границы соприкасающихся минералов плавные, ровные, без следов коррозии. Обычно минералы имеют одинаковую силу кристаллизации и образуются одновременно (рис.35–3).

Разновидностью графической является субграфическая структура, где один из минералов, находящихся в сростании, занимает по объему подчиненное положение и червеобразные вроски его напоминают письменную структуру (рис. 35–4).

7) Коррозионные структуры. Это очень разнообразные и часто встречающиеся морфологические виды в генетическом типе структур кристаллизации, которые характеризуют динамику процесса – перерыв в отложении. Выделившиеся первыми минералы становятся неустойчивыми и начинают растворяться. Оставшееся пространство в результате последующего повторного отложения выполняется другим, более поздним минералом. Образуется структура межзернового выполнения. В результате реакционного взаимодействия минералов может появиться каемочная (неполно каемочная) структура. Графический, (субграфический), узор, где границы зерен соприкасающихся минералов неровные, коррозионные, свидетельствует о предварительном растворении ранее выделившегося минерала. Чтобы не спутать субграфический рисунок, образованный при одновременном эвтектоидном сростании минералов с подобным рисунком замещения, следует провести структурное травление. Часто после травления червеобразные вроски оказываются приуроченными к заполированным границам зерен ранее выделившегося минерала. В этом случае структуру следует называть субграфической коррозионной (замещения), или межзернового выполнения. Растворение более ранних минералов может «зайти далеко» и тогда могут появиться скелетные и реликтовые (островные) структуры (рис. 36).

8) Нодулярная структура. Количественно преобладают изометричные зерна или кристаллы устойчивых рудных минералов среди нерудных. Нодулярная структура характеризует магматические руды, причем раннемагматические, когда рудные минералы

(хромит, титаномагнетит, ильменит, магнетит) появляются из расплава первыми, а силикаты (оливин, пироксен, плагиоклаз) – позднее (рис.37–1).

9) Сидеронитовая структура. Рудные минералы появляются позже основной массы силикатов (позднемагматические руды) выполняя между ними пространство (рис.37–2).

Эти две последние структуры (нодулярная и сидеронитовая) определяют взаимоотношения рудных и нерудных минералов только магматического генезиса и их не следует применять при характеристике гидротермальных руд. Для последних может быть приемлем термин нодуляр- или сидеронитоподобные структуры.

#### **4.1.2. Структуры распада твердых растворов**

Твердый раствор – это гомогенная минеральная фаза (изоморфноемкий минерал сложного состава), образованная из расплава или раствора смешением двух индифферентных минеральных фаз (соединений) с похожими кристаллическими структурами, атомы которых могут изоморфно замещать друг друга. Распад смешанных кристаллов (изоморфной смеси) происходит в основном при медленном понижении температуры в твердом состоянии. Экспериментально установлена температура распада или образования определенных минеральных пар, которые известны как геологические термометры. Некоторые пары минералов (минерал-хозяин и вновь образовавшийся при распаде) представлены в табл.11, где дана температура распада изоморфной смеси.

Нужно помнить, что структуры распада указывают на одновременность образования пары минералов, возникших в результате распада.

В этом генетическом типе структур возможны следующие морфологические виды – узоры, рисунки.

1) Эмульсионная структура. Выделившийся при распаде минерал (продукт распада) распределен в минерале-хозяине в виде беспорядочно рассеянных или ориентированных точек (рис.38–1)). Иногда отмечается зональное распределение точек – концентрация их только в центральной или только в периферийной части зерна (сфалерит-халькопирит).

2) Пластинчатая структура. Продукты распада закономерно ориентированы в минерале-хозяине по плоскостям спайности или по кристаллографическим ограничениям в виде пластинок. Очень характерны пластинки для пар: халькопирит-борнит, борнит-халькопирит, сфалерит-халькопирит, магнетит-ильменит, ильменит-гематит и др. (рис.38–3).

В отличие от похожего рисунка в других генетических типах пластинки в случае распада твердого раствора имеют ровные, без следов коррозии края.

3) Решетчатая структура. При пересечении пластинок, расположенных в минерале-хозяине по различным направлениям спайности (по двум взаимно перпендикулярным или по трем в виде треугольника), образуется решетчатая структура как разновидность пластинчатой (рис.38–3). Характерно, что в местах пересечения пластинки сужаются, как бы прерываются в виде штрихов, в отличие от структур замещения, где в местах пересечения пластинок образуются раздувы, узлы (рис. 38–4).

4) Графическая структура. Взаимное прорастание двух минералов (хозяина и продукта распада), образующих извилистые границы (рис. 39–1, 2).

5) Петельчатая структура. Обособление минерала – продукта распада вдоль границ зерен минерала-хозяина (рис. 39–3).

Таким образом, отмеченные узоры (точки, пластинки, решетки, взаимные прорастания) появляются последовательно при медленном понижении температуры. Петельчатая структура – образование более крупных выделений на границе между зернами минерала-хозяина, является завершающим этапом эволюции распада твердых растворов. Как считает А.Г. Бетехтин (1958) более крупные выделения минерала-продукта распада образовались за счет мелких, точечных, тонкораспыленных в результате дальнейшей перегруппи-

ровки вещества в твердом состоянии в условиях медленного продолжительного понижения температуры.

Таблица 11

**Минералы, образующие твердые растворы**

| Минерал-хозяин | Минерал, образовавшийся при распаде | Температура (Т°С) |
|----------------|-------------------------------------|-------------------|
| Дискразит      | Серебро                             | 300 (275–350)     |
| Халькозин      | Штроемейерит                        | 300               |
| Борнит         | Халькозин                           | 225               |
| Борнит         | Халькопирит                         | 300, 475          |
| Борнит         | Тетраэдрит                          | 275               |
| Сфалерит       | Пирротин                            |                   |
| Сфалерит       | Халькопирит                         | 400–350           |
| Халькопирит    | Халькозин                           | 480               |
| Халькопирит    | Борнит                              | 500 (475, 275)    |
| Халькопирит    | Сфалерит                            | 550               |
| Халькопирит    | Станнин                             | 500               |
| Халькопирит    | Пирротин                            | 550               |
| Халькопирит    | Валлериит                           | 225               |
| Халькопирит    | Кубанит                             | 450               |
| Халькопирит    | Тетраэдрит                          | 500               |
| Пирротин       | Халькопирит                         | 600               |
| Пирротин       | Пентландит                          | 600               |
| Кубанит        | Халькопирит                         | 235 (400)         |
| Гематит        | Магнетит                            | Свыше 1200        |
| Ильменит       | Гематит                             | 600–700 (500)     |
| Шпинель        | Корунд                              | 800               |
| Магнетит       | Ильменит                            | 700–600 (800)     |
| Магнетит       | Шпинель                             | 800–1000          |
| Магнетит       | Ульвошпинель                        | 750–800           |

Примечание. Данные Э. Ингерсон, 1958; в скобках – С.А. Юшко, 1984

Следует обратить внимание на взаимоотношения между сфалеритом и халькопиритом, которые являются главными рудными минералами полиметаллических месторождений. Наличие точек, пластин, решеток халькопирита в сфалерите, а также графические их вращающиеся обычно интерпретируются как распад твердого раствора. Однако, как показали экспериментальные исследования (Крейг, Воган, 1983), халькопирит в значительных количествах растворяется в сфалерите только при высокой температуре – 500°С, а при низких температурах сфалерит не может растворить нужное для таких структур количество меди. Если такие структуры (рисунки) отмечаются в сфалерите низкотемпературном (100–150°С), то их следует интерпретировать как структуры роста или замещения сфалерита халькопиритом.

б) Пламенеvidная структура. П. Рамдором пламенеvidная структура была установлена для пентландита, являющегося продуктом распада пирротина. Как отмечают Д. Крейг и Д. Воган (1983), распад моносulfидного (пирротинового) твердого раствора происходит от ранних точечных и пластинчатых к цепочкообразным, прожилковым формам, располагающимся в интерстициях зерен пирротина. При дальнейшем понижении температуры последние порции пентландита выделяются в виде пламенеvidных узоров.

### 4.1.3. Структуры метасоматических и метаморфических руд

Изменения температуры и давления, а также рН и Eh обстановки, приводят к образованию новых равновесных парагенетических ассоциаций. В результате перераспределения или привноса-выноса элементов, происходит перекристаллизация первичных минералов или замещение одних минералов другими в твердом состоянии. При этом, могут сохраняться или отсутствовать следы первичных минералов, первичных структур и текстур. Морфологической единицей метасоматических и метаморфических структур руд является мета- или бластзерно. Возможны следующие морфологические виды.

1) Панидиоморфнобластзернистая (панидиоморфнометазернистая) структура. Зерна идиоморфные, но в отличие от первичных структур кристаллизации (панидиоморфнозернистых), грани их обычно без следов коррозии, растворения, т.е. ровные, гладкие. Метазерна часто обнаруживают механические реликты вмещающей породы (иногда только после травления) или химические реликты – элементы, заимствованные из вмещающей породы. Следует помнить также о минеральных ассоциациях: идеальные кристаллы-октаэдры магнетита в хлоритовом сланце или пирита в углисто-сери-цитовом сланце, видимо, должны определяться как идиобласты. Подобные ассоциации минералов могли образоваться только в результате метаморфизма при собирательной кристаллизации или перекристаллизации (рис.40–1).

2) Гипидиоморфнобласт(мета)зернистая структура. Минералы со слабой силой кристаллизации или, возможно, при быстрой кристаллизации, образуют метазерна, частично имеющие кристаллографические очертания. Такие зерна появляются обычно вдоль мелких трещин, на контакте двух минералов (рис. 40–2).

3) Аллоотриоморфнобласт(мета)зернистая структура. Минералы с низкой кристаллизационной способностью образуют метазерна без следов кристаллографических форм. Грани зерен, как и в случае предыдущих структур, гладкие, ровные. Минералы обычно содержат механические или химические реликты.

4) Порфиробластовая, бластпорфировая, метапорфировая структура. Наблюдаются крупные зерна или кристаллы (мета-, бластозерна) одного рудного минерала в более мелкозернистой (или бластзернистой) массе другого рудного минерала. Грани бластозерен без следов коррозии, в отличие от рисунка порфировой структуры кристаллизации. Внутреннее строение бластозерен однородное: при перекристаллизации уничтожаются морфологические признаки первичных минералов (двойники, зональность), а также структурные особенности (распад твердого раствора, коллоидные, катакластические, коррозионные и др.), (рис. 40–4).

5) Пойкилобластовая (метапойкиловая) структура. Мелкие зерна (или бластозерна) одного рудного минерала в процессе собирательной кристаллизации (или перекристаллизации) оказываются включенными в более крупные зерна или кристаллы (бласты) другого рудного минерала.

Обильные включения вмещающих пород (кварц, сланцы и др.) в рудных мета- или бластозернах приводит к образованию ситовидных структур (рис. 41–1)

6) Скелетная структура. В результате собирательной кристаллизации или перекристаллизации образуются скелетные формы – скелеты роста, частично имеющие кристаллографические очертания. Очертания зерен плавные без следов коррозии (рисю 41–2,3).

7) Ориентированнобластическая структура. При одностороннем давлении в процессе перекристаллизации бластозерна ориентируются длинной стороной перпендикулярно давлению. Такие структуры очень характерны для медно-колчеданных руд с полосчатой текстурой (рис. 40–3).

#### **4.1.4. Структуры замещения**

Структуры замещения широко распространены в рудах и обусловлены как эндогенными, так и экзогенными процессами. Замещаться могут первичные минералы вторичными: пирит – лимонитом, халькопирит – лимонитом, малахитом, азуритом, халькозином, ковеллином, арсенопирит – скородитом и т.д. Замещение возможно по трещинам спайности, по случайным направлениям, от периферии зерен к центру и др. При этом возможны разнообразные структуры: коррозионная, прожилковая, нитевидная, пересечений, сетчатая, петельчатая, каёмочная, и др. – для замещающих минералов и островная, языковая, скелетная, псевдоморфная – для замещаемых (рис. 42, 43).

Если замещение идет по спайности (например, галенит замещается церусситом или англезитом), то возможны пластинчатая, и решетчатая структуры. В отличие от подобных структур распада твердого раствора, как уже отмечалось, пластинки имеют зазубренные границы, а в местах пересечения пластинок образуются узлы и раздувы (рис. 43).

В подобных сочетаниях минералов, когда имеются первичные, такие как пирит, халькопирит, галенит и др. рудные минералы и вторичные, явно экзогенные – лимонит, малахит, азурит, ковеллин и др., порядок выделения их ясен и не вызывает трудностей. Затруднения будут касаться только порядка появления вторичных минералов. В этом случае помимо структур и текстур надо привлекать еще данные геохимии: изменения рН, Eh и др.

Замещение возможно при любом гидротермальном процессе, связанном с изменением обстановки: температуры, давления, характера раствора, наличия деформаций, после которых происходит поступление уже совершенно других порций раствора и др. Такое замещение сопровождается растворением (частичным или полным) и образованием других минералов, другой парагенетической ассоциации. Здесь тоже возможны коррозия, замещение с образованием графических, островных, кольцевых, каёмочных, неполнокаёмочных, петельчатых и других структур.

Таким образом, в этом генетическом типе рисунки (морфологические виды) повторяются, и задача исследователя сводится к расшифровке процессов, к правильной их интерпретации.

#### **4.1.5. Коллоидные структуры**

Руды могут возникнуть в процессе коагуляции гидротермальных коллоидных растворов, а также в процессе седиментации и диагенеза, выветривания, иногда при осаждении механических взвесей. Структуры руд, образованные в результате раскристаллизации коллоидов, называются метаколлоидными.

1) Сферолитовая, радиально-лучистая, концентрическая структуры. Метаколлоидные (гелевые) структуры, нередко с трещинами усыхания, характерны для гидрооксидов железа, марганца, а также для минералов зоны выветривания сульфидных руд (рис. 44).

2) Колломорфные концентрически-зональные почковидные структуры. Минералы образуются из коллоидных и истинных растворов при резком понижении температуры или давления, переохлаждении раствора и др. Происходит прерывистое отложение вещества часто с тонким ритмическим расположением посторонних включений вдоль центров (Рамдор, 1962). Примером может служить урановая смолка, самородный мышьяк, лимонит, пирит, мельниковит, кобальтин и др. (см. рис. 44).

#### **4.1.6. Структуры дробления**

Дроблению могут подвергаться любые породы и руды, любого генетического типа и все-таки следы дробления – это временные вехи, которые часто помогают разобраться в

выделении парагенетической ассоциации, являются надежным критерием выделения стадий. Различают следующие структуры деформаций.

1) Катакластическая структура. При дроблении (брекчировании) хрупких минералов (пирит, арсенопирит, касситерит, магнетит и др.) части зерен остаются на месте. Если трещины между частями зерен залечены, зацементированы рудным минералом, можно еще говорить и о цементной структуре. Иногда трещины остаются полыми (рис.45).

Если обломки имеют почти одинаковые размеры, структуру называют гранокатакластической, при разнозернистом строении обломков, структуру можно назвать порфироскатакластической. В отличие от порфировой структуры в данном случае крупные обломки (катакласты) и мелкая основная масса образовались одновременно (см. рис.45).

2) Кластические структуры. Морфологической единицей структуры являются обломки – класты, которые после дробления испытали перемещение с последующей цементацией. В отличие от катакластических структур, кластические – первичные структуры, так как обломки (класты) и цементирующий материал (рудный или нерудный) формируются одновременно. Морфологические виды кластических структур: гранокластическая (обломки почти одинаковой формы), порфироскластическая (крупные обломки на фоне мелких), ориентированнокластическая, тонкокластическая, раскroшечная и др.(рис.46).

3) Структуры смятия. В результате деформаций пластичные минералы (антимонит, молибденит, галенит, халькозин и др.) испытывают смятие, которое фиксируется по изогнутым трещинам спайности, двойниковым швам (см. рис.46–3). При одновременной деформации, пластичные минералы, залечивая трещины в хрупких минералах (без следов коррозии в них), создают ложную картину позднего по отношению к последним образования.

Наиболее характерные и часто встречаемые особенности деформаций – его двойникование, пластинчатость давления. Под влиянием стресса пластинчатые минералы часто обнаруживают тонкие, одинаковой толщины полисинтетические двойники. Примером может служить пирротин (см. рис. 29). Волокнистые пластинчатые минералы (молибденит, графит) обнаруживают структуры расщепления. Нередко признаки любых деформаций можно обнаружить только после структурного травления.

## 5. РУДНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ

Любой генетический тип месторождения, а также в целом рудные формации характеризуются определенной минеральной ассоциацией, т.е. группой совместно находящихся минералов, минеральная ассоциация, образованная в определенной геологической и физико-химической обстановке, может включать один -или несколько парагенезисов, т.е. групп одновременно образованных равновесных (сосуществующих) минералов со своими структурами и текстурами. В каждой ассоциации можно выделить ведущие или главные, типоморфные минералы и минералы сопутствующие – редкие и второстепенные. Главные, наиболее распространенные минералы определяются довольно легко, а редкие, представленные обычно мелкими включениями и тонкими сростаниями с жильными и рудными минералами, для диагностики требуют дополнительного внимания и привлечения более точных методик. Знание типоморфных ассоциаций очерчивает круг определенных сопутствующих минералов, которые можно заранее предвидеть, что значительно упрощает работу минералога.

Группа вторичных минералов, среди которых также есть характерные типоморфные минералы, образует свои парагенетические ассоциации и имеет свои структурные и текстурные особенности. Вторичные минералы дополняют характеристику месторождения, а некоторые из них могут представлять теоретический и практический интерес.

В табл.12.приведены минеральные ассоциации некоторых широко распространенных типов руд без рассмотрения вопросов рудообразования. Основные свойства рудных минералов даны в описательных таблицах (приложения).

Таблица 12

| Минеральные ассоциации, характерные текстуры и структуры некоторых генетических типов руд  |   |  |
|--|---|--|
| Главные (типоморфные) минералы   | Редкие и второстепенные минералы  | Вторичные минералы   |
| 1  | 2   | 3  |
| <b>Хром</b><br>Хромовые магматические руды<br>Текстура: массивная, вкрапленная, полосчатая, очково-петельчатая.<br>Структура: зернистая, нодулярная, сидеронитовая.  |   |  |
| Хромит.<br>Оливин, ромбический пироксен, хромшпинелиды   | Платина, поликсен, невянскит, сысертскит, пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит   | Миллерит, никелин, пирит. Серпентин, фуксит, хромдиопсид, хромактинолит, хромвезувиан, хромтурмалин, хромрутил, асбест, брусит, перовскит, тальк, анкерит, магнетит, кальцит |
| <b>Железо</b><br>1) Титаномагнетитовые магматические руды.<br>Текстура: массивная, вкрапленная, пятнистая, полосчатая, прожилковая.<br>Структура: зернистая, сидеронитовая, распада твердого раствора (магнетит-ильменит, магнетит-ульвошпинель), каёмочная. |   |  |
| Титаномагнетит, магнетит, ильменит, перовскит.<br>Основной плагиоклаз, пироксены, оливин, нефелин, апатит, кальцит, форстерит  | Пирроин, пентладит, платина, платиноиды, халькопирит, пирит.<br>Шпинель, хёгбомит, корунд, пирохлор, бадделиит  | Рутил, лейкоксен, магнетит, пирит, гематит, маггемит, рутил, лейкоксен, магнетит, пирит, борнит, ковеллин.<br>Серпентин, хлорит, биотит, эпидот, амфиболы                    |
| 2) Скарново-магнетитовые руды (магматические и постмагматические).<br>Текстура: массивная, вкрапленная, прожилковая, пятнистая, полосчатая, бурундучная, брекчиевая, оспенная.<br>Структура: метазернистая, зернистая, коррозионная.                         |   |  |
| Магнетит.<br>Гранаты, пироксены, скаполит, амфиболы, эпидот, шпинель, флогопит, апатит, монтичеллит, кварц, форстерит, кальцит   | Гематит, марказит, пирит, пирротин, кобальтин, висмутин, линнеит, саффлорит, сам. золото, сам. серебро, сфалерит, галенит, арсенопирит, миллерит, никелин, молибденит, глаукоdot, электрум, халькопирит.<br>Орпит, ильваит, хондродит, клиногумит, везувиан, сфен | Мартит, мушкетовит, маггемит, лимонит, гётит, ильменит.<br>Серпентин, хлорит, серицит, тальк, пирофиллит, диккит, галлуазит, алунит, кварц, карбонаты, цеолиты               |

|   |  |  |
|---|--|--|
| 3) Магнетитовые руды (гидротермальные малых глубин).<br>Текстура: вкрапленная, полосчатая, массивная, друзовая, брекчиевая.<br>Структура: зернистая, коррозионная, почковидная, сферически-скорлуповатая, оолитовая.                            |  |  |
| Магномагнетит.<br>Кальцит, серпентин,<br>хлорит   | Гематит, пирит, халькопирит, пирротин. Гранаты, диопсид, ге-денбергит, эпидот, актинолит, апатит   | Мартит, гидрогётит, лимонит. Монтмориллонит, тальк, цеолиты                          |
| 4) Сидеритовые руды (гидротермальные).<br>Текстура: массивная, полосчатая, брекчиевая.<br>Структура: зернистая, коррозионная.   |  |  |
| Сидерит, брейнерит (сидероплезит, пистомезит), гематит.<br>Доломит, анкерит, барит  | Магнетит, пиролюзит, манганит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирит.<br>Бастнезит, кварц  | Гётит, гидрогётит, гидрогематит, лимонит.<br>Каолинит, галлуазит, арагонит, вивианит |
| 5) Болотные и озерные железные руды и бурые железняки (осадочные).<br>Текстура: землистая, плотная, слоистая, конкреционная.<br>Структура: оолитовая, скрытокристаллическая, пластинчатая, колломорфная, цементная.                             |  |  |
| Тюрингит, шамозит, гематит, гётит, ферримонтмориллонит, манганосидерит, железистый хлорит, стриговит.<br>Каолинит, галлуазит, опал, глауконит, барит, гипс, родохрозит  | Пирит, магнетит, маггемит, сидерит, псиломелан, пиролюзит, реальгар, манганит, асболап.<br>Коллофан, вивианит, керчинит, глауконит, арагонит, гипс | Гётит, гидрогётит, гидрогематит, вернадит. Глинистые минералы, кальцит               |
| 6) Железистые кварциты (метаморфогенные руды).<br>Текстура: полосчатая, сланцеватая, плейчатая, массивная, вкрапленная.<br>Структура: бластическая зернистая.   |  |  |
| Гематит, магнетит, сидерит.<br>Кварц, хлорит, биотит, куммингтонит, эгирин, тальк, серицит, тремолит!   | Маггемит, пирит, пирротин, халькопирит   | Гётит, мартит, мушкетовит, гидрогематит, гидрогётит                                  |
| <b>Марганец</b>   |  |  |
| 1) Карбонатно-гидрооксидные руды: (осадочные и вулканогенно-осадочные).<br>Текстура: слоистая, конкреционная, пористая, землистая, сплошная.<br>Структура: оолитовая, псевдоморфная, концентрически-зональная, слоисто-колломорфная, цементная, |  |  |
| Псиломелан, полиперманганит, пиролюзит, манганит, родохрозит, олигонит, манганокальцит, ферриродохрозит.<br>Кварц, опал, барит, каолинит, доломит, гипс, манганстильпомелан, глауконит, цеолиты, углистое вещество                              | Пирит, марказит  | Пиролюзит, псиломелан, гётит, лимонит, асболан                                       |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>2) Марганцевые руды жильные в метасоматические (постмагматические).<br/> Текстура: сплошная, вкрапленная, брекчиевая, полосчатая.<br/> Структура: зернистая, метазернистая, сферолитовая, замещения.</p>         |   |   |
| <p>Тодорокит, браунит, гаусманит, манганит, родохрозит, мангано-кальцит.<br/> Марганцовистый гранат, диопсид, тефроит, анкерит, хлорит, кварц</p>   | <p>Магнетит, якобит, франклинит, бустамит, родонит, пьомонтит</p>   | <p>Пирролюзит, псиломелан, гётит</p>  |
| <p><b>Никель</b></p>  |   |   |
| <p>Медно-никелевые сульфидные руды (магматические ликвационные).<br/> Текстура: массивная, вкрапленная, полосчатая, прожилковая, брекчиевая.<br/> Структура: зернистая, распада твердых растворов, коррозионная</p> |   |   |
| <p>Пирротин, пентландит, троилит, халькопирит, магнетит.<br/> Оливин, пироксены, плагиоклазы</p>  | <p>Ильменит, хромит, кубанит, макиनावит, моихукит, талнахит, сперрилит, мончеит, фрудит, майченерит, пирит, хромшпинелиды</p>   | <p>Полидимит, виоларит, кобальтин, герсдорфит, линнеит, гессит, борнит, сфалерит, галенит, никелин, валлериит, миллерит, гётит, магнетит, халькозин, пирротин моноклинный.<br/> Хлорит, тальк, карбонаты, серпентин</p> |
| <p><b>Кобальт</b></p>   |   |   |
| <p>Кобальтовые гидротермальные руды.<br/> Текстура: массивная, прожилковая, вкрапленная, брекчиевая.<br/> Структура: зернистая, концентрически-зональная, коррозионная.</p>   |   |   |
| <p>Шмальтин, хлоантит, арсенопирит, кобальт-содержащий, скуттерудит, саффорит, глаукодот, кобальтин.<br/> Кварц, серицит, турмалин, эпидот, цоизит, альбит, флюорит, хлорит, карбонаты</p>                          | <p>Никелин, лёллинит, раммельсбергит, халькопирит, висмутин, сам. серебро, сам. золото, пирротин, пирит, сфалерит, галенит, теннантит, гуа-нахуатит, эмплектит, миллерит, герсдорфит, прустит, пираргирит, станнин, тетрадимит, клаусталит, гессит, креннерит, сам. висмут.<br/> Сфен, рутил, брукиит, анатаз</p> | <p>Эритрин, аннабергит, скородит, «бурый землистый кобальт», «желтый землистый кобальт», «сажистые руды», арсенолит, ховахсит, миметезит, розелит, фармаколит</p>   |

| Медь   |  |  |
|--|--|--|
| <p>1) Медно-молибденовые порфиновые руды (гидротермальные).<br/> Текстура: вкрапленная, прожилковая, брекчиевая.<br/> Структура: зернистая, коррозионная, катакластическая, цементная.</p>   |  |  |
| <p>Халькопирит, борнит, энаргит, пирит, блеклые руды, молибденит.<br/> Полевые шпаты, биотит, кварц, карбонаты, серицит</p>  | <p>Висмутин, виттихенит, эмплектит, люционит, галеновисмутит, алтаит, акантит, сам. серебро, сам. золото, сам. висмут, селен, арсенопирит, кобальтин, магнетит, кубанит, касситерит, сфалерит, галенит</p>                   | <p>Халькозин, ковеллин, самородная медь, куприт, гематит, гётит, ярозит, лепидокрокит, повеллит, ферримолибдит, дигенит, штрмейерит, тенорит, делафоссит, лампадит, малахит, азурит, хризоколла, брошантит, халькантит, псиломелан, лимонит.<br/> Каолинит, монтмориллонит, галлуазит, аллофан, гидрослюда, атакамит</p> |
| <p>2) Колчеданные руды (вулканогенно-гидротермальные метаморфизованные).<br/> Текстура: массивная, полосчатая, сланцеватая, колломорфная.<br/> Структура: зернистая, бластзернистая, концентрически-зональная, катакластическая, коррозионная.</p> |  |  |
| <p>Пирит, пирротин, халькопирит, борнит.<br/> Серицит, хлорит, амфиболы, кварц, барит, сидерит, кальцит</p>  | <p>Сфалерит, арсенопирит, висмутин, гессит, матильдит, стефанит, алтаит, акантит, кубанит, магнетит, галенит, энаргит, блеклые руды, молибденит, аргентит, сам. золото, гематит, бетехтинит, люционит, мельниковит-пирит</p> | <p>Гидрогётит, халькозин, ковеллин, гётит, пиролюзит, манганит, гематит, куприт, сам. медь, малахит, азурит, халькантит, ярозит.<br/> Каолинит, сажистые руды</p>  |
| <p>) Медистые песчаники (стратиформные телетермальные).<br/> Текстура: вкрапленная, полосчатая, массивная, пятнистая.<br/> Структура: зернистая, цементная, распада твердого раствора, (борнит-халькопирит и др.), замещения.</p>                  |  |  |
| <p>Халькопирит, халькозин, борнит.<br/> Полевые шпаты, карбонаты, кварц, хлорит, серицит, барит</p>  | <p>Блеклые руды, джезганит, штрмейерит, альгодониит, кобальтин, пирит, марказит, арсенопирит, дигенит, галенит, клейофан, линнеит, магнетит, сам. серебро, гематит, валлериит, виттихенит, полидимит</p>                     | <p>Халькозин, борнит, ковеллин, сам. медь, малахит, азурит, куприт, асболан, брошантит, гётит, гидрогётит, пиролюзит, тенорит, халькантит, антлерит, делафоссит, ярозит</p>  |

| Цинк, свинец   |   |  |
|--|---|--|
| <p>1) Полиметаллические жильные руды (гидротермальные).<br/> Текстура: массивная, прожилковая, вкрапленная, пятнистая.<br/> Структура: зернистая, распада твердого раствора (сфалерит-халькопирит и др.), коррозионная.</p>  |   |  |
| Сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, блеклые руды, рирротин, мангансидерит. Кварц, серицит, барит, кальцит   | Арсенопирит, цинкенинит, глаукокодот, вит-тихенит, бурнонит, полибазит, сам, висмут, сам. золото, гессит, алтаит, тетрадимит, акантит, энаргит  | Церуссит, англезит, смитсонит, каламин, миметезит, пироморфит, гётит, плюмбоярозит, малахит, ковеллин, азурит, халькозин   |
| <p>2) Свинцово-цинковые скарновые руды (гидротермально-метасоматические).<br/> Текстура: вкрапленная, прожилковая, полосчатая, массивная, друзовая, ритмически-полосчатая, брекчиевая.<br/> Структура: зернистая, метазернистая, сфероидальная, замещения</p>  |   |  |
| Сфалерит, галенит, пирротин, арсенопирит. Геденбергит марганецсодержащий, аксинит, гранаты, амфиболы, эпидот, волластонит, бустамит, датолит, родомит, ильваит, анкерит, доломит, сидерит, кальцит, кварц, горный хрусталь, халцедон   | Галеновисмутит, висмутин, самородные висмут, золото, серебро, акантит, молибденит, шеелит, бурнонит, буланжерит, джемсонит, геокронит, пирит, марказит, касситерит, халькопирит, блеклые руды, аргентит, стефанит, магнетит, пираргирит, полибазит, станнин, менегинит, антимонит, семсеит                      | Церуссит, англезит, каламин, гётит, массикот, ярозит, виллемит, смитсонит, халькозин, ковеллин, глёт. Пальгорскит, ги-зингерит, цеолиты  |
| <p>3) Колчеданные полиметаллические руды (вулканогенные гидротермально-метасоматические, вулканогенно-осадочные стратиформные).<br/> Текстура: массивная, вкрапленная, прожилковая, полосчатая, пятнистая, брекчиевая.<br/> Структура: зернистая, распада твердого раствора, колломорфно-зональная, катакlastическая, метазернистая.</p> |   |  |
| Галенит, сфалерит, пирит, халькопирит. Кальцит, доломит, кварц, барит, флюорит, серицит, хлорит, брейнерит, мезитит, фенгит  | Вюртцит, аргентит, гринокит, бравоит, акантит, фрейбергит, штрмейерит, марказит, блеклые руды, самородные – золото, серебро, висмут, свинец; магнетит, арсенопирит, висмутин, теллуrowисмутит, люционит, фаматинит, пирсеит, полибазит, кобальтин, гематит, пирротин, бурнонит, миллерит, джемсонит, буланжерит | Церуссит, англезит, гидроцинкит, вульфенит, лепидкрокит, гётит, пиролюзит, псиломелан, плюмбоярозит, крокоит, пироморфит, ковеллин, малахит, азурит, борнит, халькозин. Опал, гипс |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>1) Олово-вольфрам-висмутовая ассоциация рудных жил (плутоно-гидротермальные).<br/>Текстура: массивная, вкрапленная, прожилковая, крустификационная, друзовая.<br/>Структура: зернистая, коррозионная.</p>   |  |  |
| <p>Касситерит, вольфрамит, висмутин, арсенопирит, пирротин, пирит.<br/>Кварц, турмалин, топаз, берилл, апатит, флюорит, мусковит, альбит, амазонит</p>   | <p>Станнин, блеклые руды, пираргирит, прустит, сфалерит, галенит, молибденит, колумбит, танталит, кубанит, халькопирит.<br/>Амблигонит, циннвальдит, триплит</p>   | <p>Тунгстит, ферримолибденит, повеллит, скородит, ковеллин, торбернит, гётит</p>   |
| <p>2) Касситерит-сульфидные и касситерит-силикатные руды (плутоно-вулканогенно-гидротермальные).<br/>Текстура: массивная, вкрапленная, прожилковая, крустификационная, друзовая, брекчиевая.<br/>Структура: зернистая, распада твердого раствора, коррозионная, колломорфная</p> |  |  |
| <p>Касситерит, пирит, пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит.<br/>Кварц, кальцит, серицит, хлорит, флюорит, турмалин, аксинит, альбит, эпидот</p>   | <p>Станнин, висмутин, самородные: серебро, висмут; прустит, пираргирит, матильдит, энаргит, блеклые руды, вольфрамит, шеелит, буланерит, джемсонит, глаукоdot, франкеит, кобальтин, валлериит, индит, гессит.<br/>Ортит, офен, рутил, апатит, форстерит, ксенотим, олигонит</p>          | <p>Халькозин, ковеллин, скородит, малахит, азурит, гетит, ярозит, марказит-мельниковит, пизанит, мелантерит, деревянистое олово, базовисмутит, джилиндит.<br/>Каолинит, диккит, гипс</p> |
| <p>Ртуть</p>   |  |  |
| <p>Ртутные и сурьмяно-ртутные телетермальные руды.<br/>Текстура: вкрапленная, гнездово-вкрапленная, прожилковая, гребенчатая, друзовая, пятнистая, кокардовая, брекчиевая.<br/>Структура: зернистая, метаколлоидная, псевдооолитовая.</p>  |  |  |
| <p>Киноварь, антимонит, пирит, марказит, реальгар, аурипигмент.<br/>Кварц, флюорит, барит, кальцит, доломит, диккит, хлорит, серицит, графит, битумы, халцедон, брейнерит, сидерит</p>   | <p>Арсенопирит, блеклые руды ртутьсодержащие, халькопирит, галенит, сфалерит, ливингстонит, гематит, шватцит, пирротин, дискразит, сера самородная, гетчелит, фаматинит, бертьерит, висмутин, мышьяк самородный, миллерит, герсдорфит, бравоит, халькостибит, энаргит, гвадалкацарит</p> | <p>Метациннабарит, сенармонтит, валентинит, сервантит, лимонит, гидрогётит, скородит, мелантерит, эпсомит, псиломелан, халькозин, малахит, азурит</p>                                    |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Висмут</b>   |  |   |
| Никель-кобальт-висмут-серебро-урановые жильные телетермальные руды (пятиметальная формация).<br>Текстура: массивная, вкрапленная, прожилковая.<br>Структура: зернистая, коррозионная, колломорфная, распада твердого раствора, замещения.         |  |   |
| Кобальтин, герсфорфит, лёлингит, арсенопирит, уранинит, настуран, скуттерудит, раммельсбергит, никелин, саффлорит, сам. серебро, сам. висмут, пирит, марказит.<br>Кварц, карбонаты, флюорит, хлорит   | Брейтгауптит, глаукодот, ульманит, фрейбергит, бравоит, акантит, прустит, пираргирит, висмутин, молибденит, матильдит, вольфрамит, сфалерит, борнит, виоларит, халькозин, гематит, аргентит, маухерит, теннантит, стефанит, рутил, анатаз  | Аннабергит, эритрин, скородит, лимонит, торбернит, отунит, фритчеит, вальпургит, цейнерит   |
| <b>Золото</b>   |  |   |
| 1) Золото-кварцевые и золото-кварц-сульфидные руды (гидротермальные).<br>Текстура: вкрапленная, прожилковая, крустификационная, друзовая, кокардовая.<br>Структура: зернистая, коррозионная, распада твердого раствора.                           |  |   |
| Золото, сильванит, петцит, гессит, калаверит, нагиагит, тетрадимит, креннерит, пирит, арсенопирит, пирротин.<br>Кварц, полевые шпаты, флюорит, турмалин, брейнерит, эпидот  | Блеклые руды, прустит, пираргирит, висмутин, буланжерит, джемсонит, сфалерит, галенит, касситерит, фрейбергит, айкинит, халькопирит, шеелит, бурнонит, самородный-висмут, виоларит, энаргит, молибденит, вольфрамит                        | Лимонит, церуссит, ковеллин, малахит, скородит, сенармонтит, тунгстит, арсенолит  |
| 2) Золотые и золото-серебряные руды (гидротермальные близповерхностные).<br>Текстура: вкрапленная, прожилковая, полосчато-вкрапленная.<br>Структура: зернистая, коррозионная, дисперсная.   |  |   |
| Золото, электрум, кюстелит, серебро, сильванит, калаверит, петцит, пирит, гессит, пираргирит, прустит, аргентит, стефанит, полибазит.<br>Кварц, флюорит, адуляр, барит, халцедон, серицит, родонит, родохрозит, аметист, манганокальцит, бустамит | Акантит, матильдит, антимонит, блеклые руды, реальгар, аурипигмент, киноварь, клаусталит, алтаит, ялпаит, нагиагит, миаргирит, буланжерит, джемсонит, арсенопирит, бертьерит, арсенополибазит, селенистый канфильдит, пирсеит, штернбергит | Лимонит, скородит, клаудетит, арсенолит, валентинит, жозеит, стибиолоюцит, теллуrowисмутит, плагионит, волинскит, вейссит, малахит, азурит, сера самородная.<br>Глинистые минералы, гидрослюды, цеолиты |

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### 6.1. Устройство рудного микроскопа. Ход лучей в рудном микроскопе

Знакомство с рудным микроскопом начните с описания его устройства. Внимательно изучите расположение всех частей микроскопа. Затем смонтируйте объект-аншлиф на стекле с пластилином и придайте ему строго горизонтальное положение с помощью минераграфического пресса. Предварительно протрите аншлиф на сукне или фетре для удаления грязи и возможной пленки окисления минералов. Поставьте аншлиф на столик. Через трансформатор включите в сеть лампочку, наведите микроскоп на фокус.

Чтобы получить максимально яркое изображение объекта, отрегулируйте опак-иллюминатор поворотом винта (см. рис. 1–4) «от себя» и «к себе», т.е. выберите положение максимального отражения света. С помощью винтов (см. рис.1–2) отцентрируйте лампочку; поверните ручку реостата на максимум.

Проверьте на практике назначение и возможности всех деталей микроскопа. Так, закройте полностью апертурную диафрагму – свет на объект не пройдет. При частично закрытой диафрагме, когда апертура уменьшится, увеличивается глубина фокуса. Проверьте это. Теперь закройте полевую диафрагму – поле зрения стало минимальным, однако зримо более ярким.

Если в микроскопе имеется два опак-иллюминатора (как у микроскопа МИН-9), проверьте их работу, включая одно или другое устройство с помощью винта (см. рис. 1–4). Проверьте; их работу с малым и большим увеличениями.

Затем познакомьтесь с набором объективов, испытайте их в действии. Для работы с масляной иммерсией возьмите объектив с черным ободком и капните на фронтальную линзу или непосредственно на аншлиф масло (кедровое масло вязкое, капля не расплывается), опустите тубус микроскопа до соприкосновения с полированной поверхностью (или с фронтальной линзой объектива) и наведите на фокус. Следите, чтобы капля масла при фокусировке не отрывалась ни от объектива, ни от объекта.

Познакомьтесь также с набором окуляров. Испытайте их в различных сочетаниях с объективами. Обратите внимание, что размер поля зрения зависит от увеличения окуляра.

#### Ответьте на вопросы;

1. В чем принципиальное отличие рудного микроскопа от петрографического?
2. Какие требования предъявляются к источнику света – лампочке – и почему?
3. Какое назначение объектива?
4. Что влияет на качество изображения объекта?
5. Объясните обозначения на оправе объектива: ахром, апохром, черный ободок и др.
6. Каково назначение окуляра? Покажите ход лучей в окуляре?
7. Объясните назначение апертурной диафрагмы и её название.
8. Что такое разрешающая способность микроскопа и от чего она зависит?
9. Каковы возможности (преимущества и недостатки) отражательных устройств – призматического и пластинкового опак-иллюминаторов?
10. Чем отличается диафрагма поля зрения от апертурной?
11. Назовите марки отечественных рудных микроскопов и кратко их охарактеризуйте.

### 6.2. Изготовление аншлифа

Подробно, в деталях ознакомьтесь с оборудованием шлифовальной мастерской. Знакомство начните с резального станка (ручного или автоматического). Проследите за процессом изготовления аншлифа постадийно. Особое внимание обратите на доводку, ко-

торая является промежуточной стадией между шлифовкой и полировкой. Если имеются автоматические или полуавтоматические станки, наблюдайте за их работой.

Ответьте на вопросы:

1. Чем отличаются диски друг от друга: резальный, шлифовальный, полировальный?
2. Какие абразивы используются, как они классифицируются?
3. Последовательно перечислите стадии изготовления аншлифа.
4. Цель каждой стадии.
5. Как определить продолжительность шлифовки, доводки, полировки?
6. Как изготовить аншлифы из рыхлой и сыпучей породы?
7. Преимущества и недостатки аншлифов, изготовленных на автоматических станках и вручную.

### **6.3. Диагностические признаки рудных минералов в отраженном свете**

#### **6.3.1. Оптические признаки**

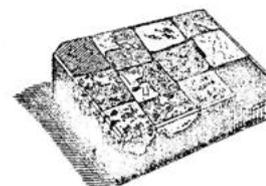
1. При одной николе по яркости научитесь различать минералы с высокими и низкими показателями отражения. Сравните такие пары: сфалерит – блеклая руда, сфалерит – кварц, сфалерит – магнетит, магнетит – гранат, магнетит – гематит, магнетит – ильменит, киноварь – антимонит, халькопирит – пирит, халькопирит – золото, халькозин – блеклая руда, халькозин – малахит, кальцит – шеелит и др.

2. Поупражняйтесь в определении цвета минералов визуально. Начните с эталонов: посмотрите минералы белого цвета (см. табл. 4), запомните их показатели отражения; затем – минералы серого цвета, показатели отражения которых будут значительно ниже. От светло-серых минералов (блеклая руда, сфалерит и др.) к темно-серым (лимонит, касситерит и др.) показатели отражения будут уменьшаться.

Поупражняйтесь в визуальном определении оттенков у минералов белого, серого и других цветов, сравнивая их с эталонами: сфалерит – магнетит, сфалерит – блеклая руда, сфалерит – халькозин, сфалерит – ильменит, сфалерит – гематит, галенит – арсенопирит, арсенопирит – кобальтин, галенит – антимонит, халькопирит – пирротин, халькопирит – пирит, пирротин – пентландит и др. Для этой цели удобны аншлифы-блоки (рис. 47), где специально для сравнения смонтированы рядом нужные пары минералов. Такие блоки можно изготовить для сравнения различных признаков: твердости, анизотропии, внутренних рефлексов и др. В качестве основы в данном случае использована эпоксидная смола.

Обратите внимание на цвет и яркость нерудных (породообразующие и жильные) минералов, которые все кажутся серыми и темно-серыми, так как имеют низкие показатели отражения. На фоне низкоотражающих породообразующих минералов, рудные минералы, относящиеся к группе тоже серых низкоотражающих минералов, будут казаться высокоотражающими и даже белыми. Например, кварц-вольфрамит, нефелин-ильменит, кварц-сфалерит и др.

3. В скрещенных николях следует посмотреть минералы для определения главным образом анизотропии. Не забудьте, что полной темноты может и не быть! Посмотрите сильно анизотропные минералы (пирротин, арсенопирит, молибденит, антимонит, графит и др.). При вращении столика микроскопа, особенно в положении «не вполне скрещенные николи» окраска резко меняется, например, от розовой к голубой у арсенопирита, от коричневой к розовой у



**Рис.47. Аншлиф-блок**

пирротина и др. У слабо анизотропных минералов (халькопирит, халькозин и др.) этот эффект проверьте с масляной иммерсией.

4. Сильно анизотропные минералы обладают двуотражением (см. табл.3), которое наблюдается уже при ОДНОМ НИКОЛЕ: при повороте столика минерал чуть угасает и просветляется. Это явление посмотрите у молибденита. У слабо двуотражающих минералов эффект усиливается с масляной иммерсией.

5. Внутренние рефлексии (см.табл.5) можно обнаружить с помощью «косо́го света». При работе с малыми увеличениями следует вынуть лампочку из осветителя и направить свет непосредственно на полированную поверхность аншлифа, минуя горизонтальный тубус (при этом нужно смотреть в микроскоп!), косоотраженные, рассеянные лучи покажут истинный цвет минерала. При работе с большими увеличениями внутренние рефлексии можно увидеть в скрещенных николях и в масляной иммерсии. Посмотрите внутренние рефлексии у мягких и землистых минералов (киноварь, малахит, лимонит, марганцевые минералы и др.), где цветной эффект наблюдается по всему зерну. У твердых минералов, таких как гематит, вольфрамит, хромит и другие, внутренние рефлексии проявляются только в порошке, который можно получить при царапании полированной поверхности минерала стальной иглой. С масляной иммерсией точечный цветной эффект наблюдается даже у твердых минералов.

Посмотрите как выглядят внутренние рефлексии красного цвета у киновари, вишнево-красные у гематита, желтые у лимонита, желтые и бурые у сфалерита.

#### Ответьте на вопросы:

1. Объясните следующие оптические явления и их отличия: яркость, блеск, цвет, отражательная способность.

2. Используя формулу Френеля, определите показатель отражения граната, касситерита, пироксена, малахита.

3. У кварца в отраженном свете наблюдаются радужные эффекты, объясните их.

4. С какой целью используется масляная иммерсия и как она влияет на показатель отражения минералов?

5. Объясните отсутствие полной темноты в скрещенных николях при работе с некоторыми минералами.

6. Объясните отсутствие внутренних рефлексии у минералов, окрашенных в желтый и медно-желтый, медно-бронзовый цвет: пирит, халькопирит, пирротин, пентландит.

7. Почему явление двуотражения называют отражательным плеохроизмом?

8. Почему рудные минералы серого цвета более яркие, чем серые жильные и порообразующие минералы?

### **6.3.2. Механические свойства**

I. Научитесь определять твердость минералов обыкновенной стальной иглой: поставьте иглу как можно круче к полированной поверхности аншлифа и проведите черту. Начните с минералов, которые уже узнаете визуально (галенит, сфалерит, халькопирит, пирит), чтобы определить силу нажима на мягкие и твердые минералы. Не забывайте, что некоторые твердые минералы хрупкие и при сильном нажиме растрескиваются, ломаются, оставляя порошок (например, гематит). При царапании ковких и мягких минералов остается желобок с валиками по краям черты.

Затем поупражняйтесь в определении твердости методом полоски Кальба (по относительному рельефу) с малыми и большими увеличениями. Сравните рельеф у минералов похожих по цвету, но имеющих разную твердость: сфалерит – магнетит, галенит – арсе-

нопирит, халькопирит – пирит, пирит – пирротин и др., а также у минералов резко различных и по цвету, и по твердости: галенит–пирит, молибденит–кварц, никелин–герсдорфит и др.

Познакомьтесь с микротвердометром, посмотрите отпечатки, полученные на мягких и твердых минералах и на одном минерале, но при разной нагрузке.

2. Магнитные свойства проверьте с помощью магнитной стрелки, свободно качающейся на игле: осторожно поднесите аншлиф полированной поверхностью к стрелке и наблюдайте за её поведением. Таким путем можно определить магнетит и отличить его от похожего по цвету сфалерита, пирротин отличить от никелина и др. В случае же совместного присутствия в одном аншлифе магнетита и пирротина или очень мелких включений исследуемого минерала, а также распознавания различных фазовых состояний пирротина (моноклинной и гексагональной), хорошие результаты дает метод магнитной порошковой графии.

3. Обратите внимание на форму сечений зерен, как на дополнительный диагностический признак многих минералов. Посмотрите и запомните формы сечений, характерные для отмеченных ниже минералов. Так, антимонит, белый в отраженном свете, отличается от белой же при одном никеле киновари по вытянутой, призматической форме зерен. Для точной диагностики, конечно, нужно еще посмотреть внутренние рефлексии! Очень характерная форма у арсенопирита, который наряду с призматическими удлиненными дает и изометричные сечения. В последнем случае нужно проверить еще анизотропию, чтобы не спутать анизотропный арсенопирит с изотропным кобальтином. Всегда игольчатые, длиннопризматические кристаллы у джемсонита и буланжерита, изометричные сечения у магнетита, граната, пирита кобальтина; пластинчатые, часто лучистые агрегаты у гематита и др. (см. рис.28).

4. Спайность и отдельность, а для некоторых минералов двойники и зональное строение также являются дополнительными диагностическими признаками.

Посмотрите галенит, который всегда узнается однозначно по наличию черных треугольников, обусловленных совершенной спайностью по кубу. Наличие спайности по октаэдру (две или три системы трещин) у пентландита, надежно отличает его от похожего по цвету пирротина. Одна система трещин спайности хорошо видна у антимонита, молибденита.

При внимательном наблюдении в крупных зернах высокотемпературного сфалерита можно заметить слабые полисинтетические двойники, которые становятся более четкими после действия на минерал реактивами. Часты тройники у сафлорита. Очень характерно зональное строение для кобальтина, смальтина, хлоантита.

Студентам рекомендуется посмотреть эти минералы и запомнить отмеченные признаки.

Ответьте на вопросы:

1. Назовите методы определения твердости минералов в аншлифе.
2. Как определяется и оценивается твердость минералов царапанием?
3. Охарактеризуйте возможности метода относительного рельефа.
4. Покажите последовательность измерения микротвердости на приборе ПМТ-3.
5. Что влияет на значения твердости, получаемые методом микровдавливания?
6. Что такое анизотропия твердости?
7. Что влияет на форму отпечатка и как она изменяется?
8. Сопоставимы ли значения твердости одного и того же минерала, полученные различными методами. Покажите это на сфалерите и халькопирите.
9. Объясните наличие черной каймы вокруг зерен пирита, находящихся в галените, и вокруг молибденита – в кварце.
10. Назовите возможные формы сечений минералов кубического, таблитчатого и призматического габитусов.
11. Как отличить спайность от абразивных штрихов?
12. Почему в отраженном свете спайность является только дополнительным диагностическим признаком, в отличие от проходящего света?
13. Как можно оценить магнитные свойства рудных минералов в аншлифе?

### **6.3.3. Химические методы**

1. Диагностическое травление, качественные определения отдельных элементов, а также реакции по методу отпечатков проведите на заранее известных минералах с целью получения навыка, а также знакомства с результатами реакций. Проведите диагностическое травление, руководствуясь табл.7, и помните, что оно применяется только к крупнозернистым или мономинеральным рудам. Отпечатки с помощью фотобумаги проведите на железо с пиритом, пирротинном, магнетитом; на никель – с пентландитом, на свинец – с галенитом и др. Качественные испытания проведите на марганец с любым марганцевым минералом (гидроксидом), на мышьяк – с арсенопиритом и др.

Химические испытания требуют аккуратности и тщательности) реактивы должны быть свежеприготовленными; следует предохранить покровным стеклом фронтальную линзу объектива от действия паров реактивов!

2. Так же на известных заранее минералах проведите структурное травление с помощью специальных реактивов, подобранных для каждого минерала (см. табл.7). Этим способом у сфалерита выявляется зональность, полисинтетические двойники, спайность; спайность и зональность – у пирита, кобальтина; спайность, структуры рапада – у магнетита; двойники – у халькопирита и др.

После проведения диагностического, структурного травления, получения отпечатков и других реакций, аншлиф следует отполировать заново, а в некоторых случаях сначала довести на стекле с тонкими абразивами, а затем уже отполировать.

Ответьте на вопросы:

1. На чем основаны методики травления?
2. В чем сущность диагностического и светового травления? Условия травления.
3. Сущность и значение структурного травления.
4. В каких случаях целесообразно применение качественного микрохимического анализа? Приведите конкретные примеры,
5. В чем принципиальная разница методов капельного, кристаллоскопического, метода отпечатков и фазового анализа?

## **6.4. Количественно-минералогический подсчет и определение размера зерен**

### **6.4.1. Линейный метод**

Возьмите окуляр-микрометр со шкалой, закрепите аншлиф в препаратодителе – салазках (см. рис.32), зафиксируйте столик микроскопа и начинайте замеры. Посчитайте количество делений, приходящихся на каждое сечение зерен минералов вдоль одной линии (дорожки) в заранее ограниченном участке аншлифа или проходящей через весь аншлиф. Затем переходите на следующую линию, отстоящую от первой на средний диаметр зерна данной руды и снова фиксируйте число делений, занимаемых тем и другим минералом. Пройдите несколько дорожек (не менее 20 полей зрения). Сложите количество делений, приходящихся на первый, второй и другие минералы во всех дорожках. Общую пройденную длину всех дорожек надо принять за 100 %, а отсюда нетрудно определить количество каждого минерала, слагающего руду (в %).

Не забывайте, что при передвижении аншлифа вдоль дорожки на соседний участок для продолжения замера, следует ориентироваться на начало и конец шкалы, чтобы не оставить без внимания «пограничные» между полями зрения зоны.

#### **6.4.2. Планиметрический метод**

Проведите количественно-минералогический подсчет с помощью окуляра-сеточки в том же аншлифе или участке аншлифа, который был использован для определения линейным методом, с целью сравнения точности определения. Посчитайте сколько клеточек приходится на каждый минерал, включая нерудные. При переходе на следующее поле зрения также ориентируйтесь на границы сеточки, поля при этом несколько перекрываются. Количество каждого минерала можно подсчитать, если всю площадь, т.е. общее число клеточек, принять за 100 %.

#### **6.4.3. Точечный метод**

Передвигайте аншлиф скачками с помощью салазок по одному, потом по другому направлениям (горизонтальному и вертикальному) на расстояния, равные также среднему диаметру сечения зерен и фиксируйте минерал, который попал в крест нитей окуляра. Таким путем пройдите весь аншлиф. Общее число точек – 100 %, а число точек, приходящихся на тот или другой минерал, определит его содержание в аншлифе (в %).

Можно заранее наметить тушью случайные точки по всей поверхности аншлифа, а затем, пользуясь окуляром-шкалой или окуляром-сеточкой, произвести подсчет минералов по единичным случайным (точечным) полям зрения.

#### **6.4.4. Метод стандартного препарата**

Можно поупражняться еще в определении количественного содержания минералов используя шаблоны, предложенные С.А. Вахромеевым – черные кружки с белыми знаками, символизирующими распространение рудного минерала на фоне нерудного или одного из рудных на фоне руды в целом (см.рис.33).

Таким образом, для приобретения навыка количественного подсчета минералов в руде, а также с целью сравнения точности определения, рекомендуется на одном аншлифе (или участке аншлифа) применить все описанные выше методы.

#### **6.4.5. Определение размеров зерен**

Размеры зерен определите с помощью шкалы окуляра-микрометра, предварительно определив цену деления шкалы, желательнее для каждого объектива. Положите на столик микроскопа объект-микрометр (см. рис. 31) и совместите его шкалу со шкалой окуляра-микрометра. При увеличениях малой силы шкала окуляра будет (как и в действительности) больше шкалы объект-микрометра; одно деление последнего равно 0,01 мм. Теперь подсчитайте сколько делений окуляра-микрометра занимает вся шкала объект-микрометра, размером в 1 мм, т.е. одно деление шкалы окуляра будет составлять какую-то часть миллиметра. Так, вся шкала объект-микрометра «укладывается» в 40 делений шкалы окуляра: 40 делений составляют один миллиметр, а одно деление – 0,025 мм. При больших увеличениях, наоборот, шкала окуляра-микрометра (длина 1 см; становится визуально меньше шкалы объект-микрометра. Например, вся шкала окуляра занимает 60 делений шкалы объект-микрометра, следовательно, цена деления шкалы окуляра 0,006 мм.

Ответьте на вопросы:

1. На чем основаны точные методы подсчета количественного содержания минералов в руде?
2. Как правильно выбрать метод подсчета?
3. Оцените возможности известных методов подсчета количественного содержания минералов в руде.
4. С какой целью и как определяют размеры зерен?

## 6.5. Самостоятельная (курсовая, контрольная, дипломная) работа с аншлифом

Характеристику руды следует начинать с макроскопического описания штуфных образцов (или обнажений). Отметьте в целом облик (мелано-, лейкократовый) и текстурные (морфологические и генетические) особенности руды. Так, например, часто встречаются следующие текстуры.

1) Сплошная (массивная) руда черного цвета, сложенная магнетитом или титаномагнетитом.

2) Мелкие или крупные вкрапления единичных зерен рудного минерала, рассеянные (равномерно, неравномерно) в массе породы или жильном минерале, образуют вкрапленную текстуру. Разновидностью вкрапленной текстуры является пятнистая, представленная вкраплениями минеральных рудных агрегатов в породе. Эти текстуры характерны для руд различных генетических типов.

3) На фоне нерудных или рудных минералов образуются прожилки, в результате выполнения трещин отдельности или сланцеватости, усыхания, дробления и др. Прожилки бывают моно- или полиминеральные, одинаковые или различные по мощности, зернистости, цвету и др. Выполнение открытых трещин может происходить от периферии к центру симметрично (крустификационная текстура) в виде полос, повторяющих очертания стенок трещины и предыдущих полос. Если при этом остаются незаполненными пустоты текстура называется друзовой. Прожилки замещения имеют неровные, извилистые границы.

Прожилковая текстура характерна для руд гидротермального и метасоматического типов.

4) Слоистая (линзовидная) текстура (осадочные руды) характеризуется чередованием полос (линз) моно- или полиминерального состава, одинаковых или различных по мощности, цвету, зернистости. Границы полос обычно постепенные. При ритмическом осаждении рудных минералов (магматические, гидротермальные и осадочные руды) образуется полосчатая текстура. Границы между полосами чаще резкие.

5) Порошковатая, землистая текстура характерна для руд осадочного происхождения и зон окисления.

6) Текстуры, возникающие при деформациях: обломочная, брекчиевая, сланцеватая, пloyчатая, линзовидная, гнейсовая, землистая и др.

Желательно сделать зарисовки или сфотографировать наиболее интересные в морфологическом отношении участки штуфа (или обнажения). Тектурные особенности руды более отчетливо видны на больших отполированных образцах – пришлифовках.

Если нет штуфных образцов, описание начните с макроскопического просмотра (можно с помощью микроскопа типа МБС) полированной поверхности аншлифа и отметьте особенности распределения рудных минералов.

При микроскопическом определении рудных минералов используйте диагностические признаки: отражательную способность, цвет, внутренние рефлексы, двуотражение, анизотропию, твердость, магнитность, форму зерен и др. Для надежной диагностики минералов, наряду с обычными качественными определениями, следует обязательно применять более точные количественные методы: измерение отражения с помощью микроспектрометра (спектры отражения), микротвердости (метод микровдавливания), магнитных свойств (на магнитометре и других приборах). Выявление деталей строения зерен и анализ микровключений проводится с помощью электронного микроскопа. Предлагается иметь шлифы для точного определения нерудных и некоторых прозрачных рудных минералов, а также прозрачные двусторонне отполированные шлифы. При решении вопросов о температуре образования минералов, фазовых равновесиях, природы рудобразующих флюидов используется метод газовой-жидких включений. Желательно иметь данные микронзондового, рентгеноструктурного, спектрального анализов, для некоторых минералов – удельной электропроводности (ТЭДС), микрорадиографии и др.

Проведите структурное травление с целью выявления границ между зернами в мономинеральном агрегате, нередко кажущимся монозерном (вспомните, что границы меж-

ду зернами заполировываются!). При этом может выявиться спайность, двойники. Двойниковые пластины в каждом зерне имеют определенную ориентировку, что также помогает выявить зернистость.

Измерьте зерна, предварительно определив цену деления шкалы куляра-микрометра. Учитывая размеры зерен, выберите метод количественно-минералогического подсчета. Данные занесите в таблицу.

Проведите химические качественные испытания на отдельные элементы: отпечатки, кристаллоскопический анализ, капельный, пленочный и др. После химических испытаний аншлиф следует довести на стекло и отполировать.

Определение минералов под микроскопом рекомендуется начинать с количественно преобладающих в данной руде или аншлифе (по визуальному обзору), т.е. распространенных минералов, а затем переходить к определению малораспространенных, которые обычно представлены в виде мелких включений. Надо помнить, что для каждого генетического типа руды есть свои минеральные (парагенетические) ассоциации, представленные главными (типоморфными) и редкими минералами (см. табл.12).

Несколько слов о типоморфизме. Определение распространенных минералов при некотором навыке не представит особого труда, однако в связи с широким развитием поисковой минералогии (Юшкин, 1982), существенное значение приобретают типоморфные признаки минералов переменного состава, изоморфноёмких, способных к полиморфным превращениям.

Например, магнетит в отраженном свете определяется легко по серому цвету, высокой твердости, сильной магнитности, изометричным в сечении кристаллам и др., но детальная количественная характеристика отдельных его свойств может представлять научный интерес. Так, в зависимости от изоморфных примесей, а также субмикроскопических включений – продуктов распада твердого раствора – меняется показатель отражения магнетита от 17 до 20,5 % (см. спектр отражения, рис.19). Отмечено, что магний и алюминий, как изоморфные примеси, а также выделения шпинели (тельца распада) понижают, а субмикроскопические включения ильменита повышают показатель отражения. Иногда наблюдаются оттенки (коричневые и голубые), которые фиксируются на кривых дисперсии и связаны с субмикроскопическими включениями шпинели, ильменита и др. Меняется также и микротвердость магнетита в зависимости от содержания элементов-примесей, внутреннего строения зерен (их анатомии), содержания включений и др. Генетическим признаком для магнетита является структура распада твердого раствора магнетит-ильменит, магнетит-шпинель, магнетит-гематит, выявляющаяся при травлении и в электронном микроскопе. Для этих пар минералов экспериментально установлены температуры распада (см. табл. 11). Магнитные характеристики магнетита (намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, точка Кюри и др.), полученные с помощью магнитометра, также используются в качестве генетических признаков (Чернышева и др., 1981).

Пирротин, в отличие от магнетита не является столь изоморфноёмким, но имеет полиморфные разновидности (гексагональная и моноклинная фазы) и ряд его свойств могут быть использованы как типоморфные. Так, магнитные характеристики (намагниченность, термомагнитные свойства), связанные с вариациями содержания железа и серы, различны для высоко- и низкотемпературного пирротина. Установлено, что наиболее магнитными являются пирротины моноклинной фазы, содержание которой в минерале увеличивается с понижением температуры. Параллельно происходит изменение параметров решетки. Для пирротина характерна структура распада твердого раствора пирротин-пентландит, наличие которой свидетельствует в пользу магматического его образования (см. табл.11). На рис.17 показан спектр отражения пирротина моноклинного и гексагонального.

Типоморфизм у сфалерита выражен в изменении твердости (микротвердости), величины отражения (см. спектр отражения, рис. 15), параметра решетки и тесно связан с железистостью минерала. Так, показатель отражения повышается у сильножелезистых разновидностей сфалерита (марматит). Данные микротвердости могут быть использованы для

приближенного определения изоморфной примеси железа (в %). Очень интересны его структуры распада с халькопиритом и пирротинном. Установлено, что только при высоких температурах (~450°C) сфалерит может быть изоморфноёмким и включать как отдельные элементы, замещающие цинк или серу, так и минеральные фазы (твёрдый раствор), располагающиеся в узлах или в промежутках кристаллической постройки сфалерита. При быстром охлаждении сфалерит, содержащий другие минеральные фазы и элементы-примеси, остается гомогенным, а при медленном остывании в сфалерите начинает обособляться растворенная в нем минеральная фаза (минерал). Таким образом, структуры распада, для сфалерита являются типоморфным признаком и выводят его в ряд геологических термометров.

Примеры можно умножать, так как к настоящему времени получен обширный материал по типоморфизму породо- и рудообразующих минералов, который находит применение для решения как теоретических, так и практических задач, таких как минералогическое картирование.

После полного определения и описания всех минералов и их типоморфных особенностей, переходите к определению структур, а точнее – формы и взаимоотношений рудных (и нерудных) минералов, позволяющих наметить (с учетом текстурных и других особенностей) порядок выделения минералов. В заключении составьте парагенетическую таблицу с указанием процессов и стадий (или ритмов) минералообразования (Летувнинкас, 1977).

#### Пример.

В аншлифе присутствуют следующие минералы: пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, нерудный I (кварц), нерудный II (кальцит), т.е. распространенная ассоциация минералов полиметаллических гидротермальных месторождений. Руда характеризуется полосчатой, пятнистой, вкрапленной текстурами. Причем, характерна «размытая» полосчатость: резкие границы отсутствуют, минералогический состав полос одинаковый, однако меняются только количественные соотношения минералов. Так, полосы с преобладанием сфалерита, сменяются халькопиритовыми; в тех и других присутствуют пирит, галенит, блеклая руда и нерудные.

Картина такая. В массе сфалерита и халькопирита разбросаны зерна пирита, имеющие в основном квадратные сечения; зерна остальных минералов не имеют кристаллографических ограничений. Учитывая только форму зерен, структура может быть названа гипидиоморфнозернистой. Форма зерен пирита эвгедральная.

Сфалерит содержит точечные, округлые и неправильной формы включения халькопирита без следов коррозии. В других участках аншлифа сфалерит оказывается включенным в халькопирите. Пирит корродируется сфалеритом и халькопиритом, с образованием заливов, языков. В то же время в отдельных зернах пирита присутствуют редкие округлые островки (включения) сфалерита и халькопирита.

Галенит представлен червеобразными, жгутиковыми выделениями в сфалерите и халькопирите. Блеклая руда располагается чаще по границам зерен халькопирита и сфалерита или только в халькопирите.

Кварц в виде идиоморфных (шестиугольных) сечений включен в пирит и халькопирит. Кальцит выполняет тонкие трещины, секущие все рудные минералы. Итак, анализируем.

Вариант первый. Это одна парагенетическая ассоциация сульфидных минералов; ведущий генетический тип структур – кристаллизационный. Отмеченные взаимоотношения минералов можно интерпретировать следующим образом. Включения пирита в сфалерите и халькопирите обуславливают порфириковую структуру, что однозначно указывает на появление первым пирита. К тому же – отдельные зерна пирита корродированы сфалеритом и халькопиритом. Включения кварца в пирите может указывать на их одновременное появление или чуть более ранее кварца.

Сложность представляют взаимоотношения сфалерита и халькопирита. Точечные и неправильные включения халькопирита в сфалерите можно отнести к структурам распада и считать минералы одновременными. Включения же сфалерита в халькопирите могут

указывать на дальнейшие сложные преобразования минералов, вызванные изменениями температуры, состава поступающего раствора, реакционными взаимодействиями и др.

Червеобразные вроски галенита в сфалерите и халькопирите указывают на субграфическую структуру (или микротекстуру) и, следовательно, на одновременное образование минералов. Однако после травления выявились границы зерен сфалерита, что подчеркнуло приуроченность галенита к межзерновым промежуткам. В последнем случае структура называется межзерновой или межзернового выполнения и однозначно указывает на более позднее появление галенита.

Блеклая руда в виде каемок располагается по границам зерен сфалерита и халькопирита, образуя каемочную структуру замещения; в халькопирите отмечаются еще метелковидные коррозионные её выделения. Обе структуры говорят о более позднем появлении блеклой руды.

После некоторого перерыва появляется кальцит, выполняющий тонкие трещины, пронизывающие всю породу.

Отмеченные взаимоотношения всех минералов можно представить следующим образом (табл. 13).

Таблица 13

Схема последовательности минералообразования

| Процесс                   | Гидротермальный |    |     |    |
|---------------------------|-----------------|----|-----|----|
| Генетический тип структур | Кристаллизации  |    |     |    |
| Минералы                  | Стадии (ритмы)  |    |     |    |
|                           | I               | II | III | IV |
| Пирит                     | —               |    |     |    |
| Халькопирит               |                 | —  |     |    |
| Сфалерит                  |                 | —  |     |    |
| Галенит                   |                 |    | —   |    |
| Блеклая руда              |                 |    | —   |    |
| Кварц                     | —               |    |     |    |
| Кальцит                   |                 |    |     | —  |

Вариант второй. Идеальные кристаллы пирита могли возникнуть в результате перекристаллизации и представляют собой идиобласты (или метазерна), для которых обычно характерны обильные включения замещенной породы или ранее образованного минерала, а также прямые, без следов коррозии очертания зерен. То есть, отмеченное в первом варианте замещение пирита сфалеритом (заливчатая, языковая структура), можно интерпретировать как захват ранее образованных зерен сфалерита пиритом (островки от замещения) в результате последующей перекристаллизации (скелеты роста пирита). Порядок появления остальных минералов остается прежним. Таблица приобретает уже другой вид (табл. 14).

Вариант третий. Рассмотрим подробнее поведение пирита, сфалерита и халькопирита. Наряду с идиобластами пирита, присутствуют раздробленные, разъеденные, частично замененные сфалеритом и халькопиритом зерна. Сфалерит и халькопирит тоже ведут себя не однозначно: меняются их количественные соотношения в пределах отдельных полос (неясно-полосчатая текстура), наблюдаются взаимные включения, структуры распада, замещение к др. Все это указывает на сложный характер минералообразования. Не исключено, что полосчатость является унаследованной от первичных пород, однако она может быть обусловлена и метаморфическими процессами. Возможно, что кристаллизация сфалерита и халькопирита проходила не одновременно и не одноактно.

Схема последовательности минералообразования

| Процесс                   | Гидротермальный                    |    |     |    |
|---------------------------|------------------------------------|----|-----|----|
| Генетический тип структур | Кристаллизации, перекристаллизации |    |     |    |
| Минералы                  | Стадии (ритмы)                     |    |     |    |
|                           | I                                  | II | III | IV |
| Пирит                     |                                    |    | —   |    |
| Халькопирит               | —                                  |    |     |    |
| Сфалерит                  | —                                  |    |     |    |
| Галенит                   |                                    | —  |     |    |
| Блеклая руда              |                                    | —  |     |    |
| Кварц                     |                                    |    | —   |    |
| Кальцит                   |                                    |    |     | —  |

Существование двух и даже трех генераций можно предположить, исходя из названных текстур и структур. Появление нескольких генераций минералов вызвано последующими процессами, такими как пластическая деформация, перекристаллизация, перегруппировка вещества и др. Вероятно, что галенит тоже представлен не одной генерацией, однако ясно и то, что галенит и блеклая руда появляются позже (структура замещения, межзернового выполнения) как и кальцит. Кварц тоже претерпел изменения: более ранний (неправильные зерна) вместе с пиритом (первая генерация) и поздний, образованный в результате перекристаллизации, представлен идеальными зернами (идиобласты). Порядок выделения минералов показан в табл. 15.

Таблица 15

Схема последовательности минералообразования

| Процесс                   | Гидротермальный                    |    |     |    |   |    |
|---------------------------|------------------------------------|----|-----|----|---|----|
| Генетический тип структур | Кристаллизации, перекристаллизации |    |     |    |   |    |
| Минералы                  | Стадии (ритмы)                     |    |     |    |   |    |
|                           | I                                  | II | III | IV | V | VI |
| Пирит                     | —                                  |    |     | —  |   |    |
| Халькопирит               |                                    | —  |     | —  | — |    |
| Сфалерит                  |                                    | —  |     | —  | — |    |
| Галенит                   |                                    |    | —   |    | — |    |
| Блеклая руда              |                                    |    | —   |    | — |    |
| Кварц                     | —                                  |    |     | —  |   |    |
| Кальцит                   |                                    |    |     |    |   | —  |

Таким образом, чтобы как можно ближе подойти к действительной картине минералообразования и быть уверенным в правильности выбранного варианта, нужно очень внимательно и глубоко разобраться в структурах и текстурах руды, понять их, правильно определить парагенетическую ассоциацию минералов, а отсюда и генетический тип руды.

Ответьте на вопросы:

1. Дайте определение структуры и текстуры.
2. Что такое морфологический вид текстур и структур?
3. Что такое генерация?
4. Объясните понятия: ассоциация и парагенетическая ассоциация.

5. Как можно интерпретировать графические срастания минералов; сфалерит-халькопирит, сфалерит-галенит, халькопирит-борнит, магнетит-пирротин, магнетит-гематит, пирротин-пирит, магнетит-пирит?
6. Назовите структуры, однозначно указывающие на одновременность выделения минералов.
7. Каков механизм образования колломорфных структур?
8. В чем разница между «скелетами роста» и «скелетами замещения»?
9. Что такое порфиробласты и порфирокласты? Как они образуются?
10. Что такое «класты» и «катакласты»?
11. Как можно интерпретировать структуры: каемочная, языковая, заливчатая, островная, коррозионная, графическая, прожилковая? В каких генетических типах руд они встречаются?
12. В каких рудах возможны зональные, концентрически-зональные, колломорфные структуры (или микротекстуры)? Как они образуются?
13. Что такое твердый раствор? Условия образования структур распада твердого раствора.
14. Какие структуры и текстуры характерны для руд осадочного генезиса?
15. Как отличить структуры зернистые от мета(бласт)зернистых?
16. Чем отличается структура сидеронитовая от цементной?
17. Какое значение имеет текстурно-структурный анализ?

**Приложения**  
**(описательные таблицы)**

| Номер п/п<br>Минерал,<br>формула<br>(примеси),<br>Сингония  | Отражение <i>R</i> при<br>$\lambda_{\text{лм}} 589$<br>в воздухе,<br>ДО-двуотражение,<br>А-анизотропия | Цвет (оттенок),<br>ВР-внутренние<br>рефлексы          | Твердость<br>по Моосу,<br>Н-микро-<br>твердость,<br>кг/мм <sup>2</sup> (на-<br>грузка, г) | С-спайность,<br>ФЗ-форма зерен,<br>АГ-агрегаты,<br>ДВ-двойники,<br>З-зональность                    | ДТ-диагностическое<br>травление,<br>СТ-структурное трав-<br>ление,<br>МХР-микрохи-<br>мическис реакции  | Диагностические и другие<br>признаки   |
|---|--|---|---|---|---|--|
| 1   | 2  | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  |
| 1<br>Азурит<br>$2\text{CuCO}_3(\text{OH})_2$  | 9<br>ДО-слабое;<br>А-отчетл.   | Серый (розо-<br>вый),<br>ВР-синие                     | 3,5–4<br>Н–120–290  | ФЗ-таблитч.;<br>АГ-землистые, корки,<br>почки, радиально-<br>лучистые                               | ДТ-травится кислотами   | Синие ВР, отпечаток на <i>Cu</i> ,<br>травление кислотами. Мине-<br>рал зоны окисления   |
| 2<br>Айкинит<br>$\text{PbCuBiS}_3$<br>Ромбич.   | 44–38<br>ДО-ясное;<br>А-отчетл.  | Белый<br>(коричн.)                                    | 2–2,5<br>Н–202–246<br>(50)  | ФЗ-призматич. тонкои-<br>гольчатые; АГ-спло-<br>шные зернистые,<br>С-по (010)                       | ДТ-с $\text{HNO}_3$<br>вскипает и чернеет;<br>МХР-отпечатки на <i>Cu</i> ,<br><i>Pb</i> , <i>Bi</i> см.табл.9   | Белый цвет, низкая тв., ясное<br>ДО, отпечатки на <i>Cu</i> , <i>Pb</i> , <i>Bi</i> .<br>Содержит тельце распада<br>эмплектита |
| 3<br>Анантит $\text{Ag}_2\text{S}$<br>$\alpha$ -аргентит<br>( $<179^\circ\text{C}$ ) ( <i>Cu</i> , <i>Se</i> )<br>Монокл. | 34<br>ДО-оч. слабое;<br>А-слабая-отчетл.,<br>изотропен   | Белые<br>(голубов.)                                   | 2–2,5<br>Н–20–30<br>(100)   | ФЗ-псевдоморфозы по<br>аргентиту;<br>АГ-зернистые, скры-<br>токристаллич.;<br>ДВ-пластинч.          | МХР на <i>Ag</i> – фи-<br>олетово-красного цв.<br>Растворитель 1ч. 5 %<br>$\text{KCN}$ +1ч. насыщ. рас-<br>твора; Р-диметилами-<br>нобензилиден-<br>родамина в ацетоне.<br>Промыть водой с $\text{HNO}_3$ | Кубическая морфология,<br>светотравление, низкая мик-<br>ротвердость, структуры ра-<br>спада в галените                        |
| 4<br>Алабандин $\text{MnS}$<br>Кубич.   | 24–20<br>Изотропен, иногда<br>аномально анизо-<br>тропен   | Серо-белый<br>(зеленов.);<br>ВР-зеленовато-<br>желтый | 3,5–4<br>Н–240–251<br>(100)   | С по (100),<br>ФЗ-эвгедральная;<br>АГ-аллотриоморфно-<br>Зернистые;<br>ДВ-пластинч.<br>Зональность' | ДТ–с $\text{HNO}_3$ вскипает,<br>чернеет.<br>СТ– $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;<br>МХР-отпечаток на <i>Mn</i><br>см.табл.9   | Похож на сфалерит; зелено-<br>вато-желтые<br>ВР, реакция на <i>Mn</i>  |

| 1   | 2   | 3                                   | 4                            | 5  | 6  | 7  |
|---|---|-------------------------------------|------------------------------|--|--|--|
| 5<br>Алтайит <b>PbTe</b><br>Кубич.                              | 69<br>Изотропен   | Белый<br>(зеленов.)                 | 2–3<br>Н-46–60<br>(10–20)    | С–по (100);<br>ФЗ-кубич., скелетная,<br>округлая;<br>АГ-аллотриомор-<br>фнозерн.   | ДТ- с <b>HNO<sub>3</sub></b> вскипает и<br>темнеет; МХР-<br>отпечатки на <b>Pb</b> и <b>Te</b><br>(см. табл.9).  | Высокое отражение, хоро-<br>шая спайность, подобная<br>галенитовой, реакция на <b>Pb</b><br>и <b>Te</b> . Образует ориентир<br>срастания с галенитом; мир-<br>мекиты с креннеритом |
| 6<br>Альгодонит<br><b>Cu<sub>6-7</sub>As</b><br>Псевдогексаг.   | 77–65<br>ДО-оч. слабое;<br>А-умеренная  | Кремowo-<br>белый<br>(желтов.)      | 4<br>Полируется<br>хорошо    | С-по (100);<br>А-мелкозерн.<br>коркообразн. массы  | ДТ-с <b>HNO<sub>3</sub></b> вскипает,<br>чернеет, <b>HCl</b> -коричн.<br><b>FeCl<sub>3</sub></b> чернеет;<br>МХР-отпеч. На <b>Cu</b> см.<br>табл. 9; СТ- <b>HNO<sub>3</sub></b>        | Тесные срастания с ви-<br>тнеитом и домейкитом   |
| 7<br>Англезит<br><b>PbSO<sub>4</sub> (Ba)</b><br>Ромбич.        | 9<br>Изотропен,<br>слабо аниз.  | Серый,<br>ВР-сильные,<br>бесцветные | 2,5–3<br>Н-122–155<br>(25)   | ФЗ-призмат.;<br>АГ-колломорфные  | ДТ-с <b>HNO<sub>3</sub></b> бурет;<br>МХР – <b>KJ</b> 5% - голубая<br>иризиp. пленка (отли-<br>чие от церуссита), от-<br>печаток на <b>Pb</b> см.табл.9                                | Серый цвет, изотропн., трав-<br>ление <b>KJ</b> 5% (отличие от<br>церуссита), отпечаток на <b>Pb</b> .<br>Ассоц. см. табл. 1.  |
| 8<br>Антимонит<br><b>Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub></b><br>Ромбич. | 44–30<br>ДО-сильное;<br>А-сильная, цветовой<br>эффект: от бурова-<br>тых, до светло-<br>синих тонов | Белый<br>(голубов.)                 | 2–2,5<br>Н–65–153<br>(10–20) | С–по (010);<br>ФЗ-призматич., иголь-<br>чат.; АГ-лучист., алло-<br>триоморфнозе-рнист.;<br>ДВ-полисинтет., се-<br>тчатые | ДТ и СТ см. табл.8.<br>МХР на <b>Sb</b> : растворит.<br><b>HNO<sub>3</sub></b> (конц.)<br>и затем <b>HCl</b> (1:1); про-<br>явитель <b>HJ</b> + <b>CsCl</b> –<br>осадок красного цвета | Белый цвет, сильные ДО и<br>А, полисинтетические,<br>ДВ, ДТ с <b>KOH</b> и МХР на <b>Sb</b>  |
| 9<br>Аргентит <b>Ag<sub>2</sub>S</b><br>(> 179 °С)<br>Кубич.    | 37<br>Изотропный  | Белый<br>(голубов.)                 | 2–2,5<br>Н-20–30 (10)        | ФЗ-кубическая;<br>АГ-волосовидн., не-<br>правильные;<br>ДВ-иногда решетч.,<br>пластинчатые                               | ДТ- с <b>HNO<sub>3</sub></b> медленно<br>бурет, с <b>FeCl<sub>3</sub></b> бурет,<br>чернеет. Травится све-<br>том  | Низкая твердость, изотроп-<br>ность, светотравление.   |

| 1  | 2   | 3                                       | 4                            | 5  | 6   | 7   |
|--|---|---|------------------------------|--|---|---|
| 10<br>Арсенопирит<br><b>FeAsS</b><br>(Co, Bi, Au, Ni)                                    | 54–51<br>ДО-слабое;<br>А-сильная, изменяется цвет – голубой, зеленоватый, розоватый         | Белый<br>(розовато-желтый)              | 5,5–6<br>Н–715–1354<br>(100) | С–по (101);<br>ФЗ-ангедральная, субгедр., призматич.;<br>АГ-зернистые.;<br>ДВ-пластинч.;<br>З-зоны роста | ДТ и СТ см. табл.8.<br>МХР-отпеч. <b>As</b><br>см.табл.9. МХР на <b>As</b> :<br>растворит. <b>HNO<sub>3</sub></b><br>(конц.), прояв. <b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·MnO<sub>4</sub></b> , осадок лимонного цв., отпеч. на <b>Fe</b><br>см. табл. 9 | Белый цвет, высокая тв.,<br>призматич. кристаллы, зональн., реакция на <b>As</b>                            |
| 11<br>Аурипигмент <b>As<sub>2</sub>S<sub>3</sub></b><br>(Sb, Se, Hg, Ge)<br>Монокл.      | 28–18<br>ДО-оч. сильное;<br>А-сильная   | Серо-белый,<br>ВР-лимонно-желтые, белые | 1,5–2<br>Н–26–33 (10)        | С- по (010),<br>ФЗ-призматич.;<br>АГ-зернистые, рад-лучист., землистые,<br>скрытокристал.                | ДТ- см.табл. 8; МХР- на<br><b>As</b> см. табл.9   | Низкая тв., лимонно-желтые<br>ВР, листоватые, землистые<br>АГ, реакция на <b>As</b>                         |
| 12<br>Аурихульцит<br><b>(Zn,Cu)<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>OH</b><br>Монокл. | 7–5<br>ДО-оч.слабое,<br>А-отчетл.   | Темно- серый,<br>ВР-голубые,<br>зеленые | 2–2,5                        | АГ-колломорфные,<br>корочки, почки, радиально-лучистые   | ДТ- от <b>HNO<sub>3</sub></b> и <b>HCl</b><br>вскипает и темнеет;<br>МХР-на <b>Zn+Cu</b> растворитель <b>HNO<sub>3</sub></b> (1:20),<br>проявит. <b>HgCl + KCNS</b><br>– фиолетов. окраш.   | Формы выделения, реакция<br>по методу отпечатка на<br><b>Zn+Cu</b>  |
| 13<br>Бертьерит<br><b>FeSb<sub>2</sub>S<sub>4</sub></b><br>Ромбич.                       | 43–31<br>ДО-сильное с цветовым эффектом,<br>А-очень сильная,<br>окраска от синей до розовой | Белый<br>(серовато-коричн.              | 2–3<br>Н-155–185<br>(20–50)  | ФЗ-игольчатая;<br>АГ-зернистые   | ДТ-от <b>KOH</b> медленно буреет; МХР на <b>Sb</b> : раствор. <b>HNO<sub>3</sub></b><br>(конц.)+ <b>HCl</b> (1:1), проявит. <b>CsCl+HJ</b> – осадок кирпично-красн. цв.   | Похож на антимонит, отличается серовато-коричн. оттенком, слабым действ. <b>KOH</b> , реакцией на <b>Fe</b> |
| 14<br>Бетехтинит<br><b>Pb(Cu, Fe)<sub>21</sub>S<sub>15</sub></b><br>Ромбич.              | 33<br>А-сильная   | Белый                                   | 4<br>Н–140                   | ФЗ-игольчатая;<br>АГ-зернистые   | <b>HNO<sub>3</sub></b> -бурно вскипает,<br>интенсивно травится  | В медистых сланцах и песчаниках, с самор. <b>Cu</b> .   |
| 15<br>Биксбиит<br><b>(Mn, Fe)<sub>2</sub>(Ti)</b><br>Кубич. '                            | 22–18<br>Изотропен<br>(слабо анизотр.)  | Светло-серый<br>(желтов.)               | 6–6,5<br>Н–946–1402<br>(100) | С- по (111);<br>ФЗ-кубич.;<br>АГ-изометричные, зернист.; ДВ-пластинч.,<br>решетчатые. Зонален.           | СТ- <b>HF</b> , <b>SnCl<sub>2</sub></b> ;<br>МХР-отпечатки на<br><b>Mn, Fe</b>  | Высокая микротвердость и отпечаток на Fe (отличие от браунита),отсутствие ВР (отличие от яacobсида)         |

| 1  | 2  | 3  | 4                           | 5  | 6   | 7   |
|--|--|--|-----------------------------|--|---|---|
| 16<br><b>Борнит</b><br>$Cu_3FeS_4$<br>( <i>Ag, Bi, In, Ga, Sb, As, Ge</i> )<br>Кубич.      | 24<br>Изотропен (слабо<br>анизотропен)   | Розовый.<br>Коричневато-<br>фиолет. в ста-<br>рых аншлифах   | 3<br>Н-100–124<br>(20)      | Ф2-изометричн. зазуб-<br>рен.; АГ – сернистые,<br>сплошные, прожилки,<br>каемки<br>1   | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР- отпечаток на <b>Cu</b><br>см. табл. 9   | Розовый цвет, изотропн.,<br>реакции на Fe и Си. С халь-<br>копиритом образует струк-<br>туры распада твердых рас-<br>творов |
| 17<br>Бравойт<br>( <i>Fe, Ni, Co</i> )S <sub>2</sub> ;(Cu)<br>Кубич.                       | 54–31<br>Изотропн.   | Светло-желтый<br>(богатый <b>Fe</b> -<br>кремовый до<br>розового, бога-<br>тый <b>Ni, Co</b> -<br>розово-<br>коричнев., до<br>фиолет.) | 4–6<br>Н–668–1535<br>(100)  | Ф3-идиоморфная, куб-<br>бическая (гипогенный)<br>и псевдоморфозы по<br>пентландиту –<br>гипергенный; 3-очень<br>характерна: более те-<br>мные зоны богаты<br><b>Ni, Co</b> | ДТ и СТ-от <b>HNO<sub>3</sub></b> тем-<br>неет и иногда выявля-<br>ется зональность;<br>МХР- отпечатки на Fe и<br><b>Ni</b> см. табл. 9 | Кубич. и октаэдрич. Ф3, зо-<br>нальное строение, реакция<br>на Fe, Ni, Co   |
| 18<br>Браунит<br>$Mn(Fe,Si)_2O_3$ ,<br>( <i>Fe<sup>3+</sup>, Ba, Mg, Ca</i> )<br>Тетрагон. | 19<br>ДО-слабое по грани-<br>цам зерен,<br>А-отчетл.; цвет се-<br>рый-голубой  | Серовато-белый<br>(коричневат.)<br>ВР-оч.слабые<br>темно- коричн.<br>с иммерсией   | 6–6,5<br>Н–584–605<br>(100) | Ф3-пирамидальная,<br>изометричная;<br>АГ-полигональные, зер-<br>нистые; 3-иногда,<br>ДБ-иногда по (101)  | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР-см.табл. 9   | Диагностируется трудно.<br>Высокая твердость, слабая<br>анизотр., оч.слабые ВР<br>(с иммерс.).                              |
| 19<br>Брейтгауптит<br><b>NiSb</b><br>Гексагон.   | 54–43<br>ДО-отчетл., желтов.-<br>розовый, розовато-<br>фиолет.; А-сильная<br>(светло-зеленый,<br>желтов.-зелен., си-<br>невато-зеленый,<br>фиолет. | Розовый<br>(сирен.)  | 5–5,5<br>Н–412–449<br>(50)  | Ф3-таблитчат.;<br>АГ-зернистые, иголь-<br>чатые; 3- часто  | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР–на <b>Ni</b> см.табл. 9:<br>на <b>Sb</b> см. №8  | Розовый цвет, сильная ани-<br>зотропия, реакция на <b>Ni</b> .<br>Похож на никелин  |
| 20<br>Брошантит<br>$Cu_4[So_4(OH)_6]$<br>Моноклинный                                       | 8<br>А-слабая  | Темно-серый;<br>ВР-изумрудно-<br>зеленые   | 3,5–4<br>Н–120–200          | С- по (010);<br>Ф3-призматич.; иголь-<br>чат.; АГ- корки;натечн.<br>формы с волокнистым<br>строением.  | Легко растворяется в<br>кислотах; МХР-на <b>Cu</b><br>розово-коричн. ок-<br>рашивание   | Изумрудно-зеленые ВР, ас-<br>социация с минералами зоны<br>окисления <b>Cu</b> руд в услови-<br>ях сухого климата           |

| 1  | 2   | 3   | 4                              | 5  | 6   | 7  |
|--|---|---|--------------------------------|--|---|--|
| 21<br>Буланжерит<br>$Pb_5Sb_4S_{11}$ ; (Hg, Ag)<br>Моноклинный   | 42–35<br>ДО-слабое;<br>А-отчетливая   | Серовато-белый<br>(голубов.).<br>ВР-красные                   | 2,5–3<br>Н–92–125<br>(100)     | С- по (100);<br>ФЗ-таблитчат.,<br>призматич.;<br>АГ-игольчатые,<br>волокнистые.  | ДТ и СТ см. табл. 8;<br>МХР на <b>Pb</b> см.табл. 9   | Волокнистые агрегаты,<br>призматич. кристаллы, силь-<br>ная анизотропия. Образует<br>срастания с галенитом, сфа-<br>леритом. Замещает анtimo-<br>нит |
| 22<br>Бурнонит<br>$PbCuSbS_3$<br>Ромбич.                         | 36–33<br>ДО-слабое по гра-<br>ницам зерен;<br>А-слабая, пестрые<br>цветные эфф.           | Белый   | 2,5–3<br>Н–166–187<br>(20, 50) | ФЗ-тонкопризматич.<br>крист.;АГ-зернистые;<br>ДВ-роста в двух на-<br>правл., полисинтетич.   | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <b>Cu, Pb</b><br>см.табл. 9   | Слабая анизотропия, поли-<br>синтет. паркетные двойни-<br>ки,отрицательное действие<br><b>КОН</b> .Образует мирмекиты с<br>галенитом                 |
| 23<br>Валентинит<br>$Sb_2O_3$<br>Ромбич.                         | 16–14<br>ДО-слабое;<br>А-отчетливая   | Серый;<br>ВР-бесцветные,<br>желтые                            | 2,5–3<br>Н–200–400             | С- по (010);<br>ФЗ-призматич.;<br>АГ-радиально-<br>лучистые, аморфные  | МХР на Sb<br>см. антимонит  | Отрицательное травление,<br>псевдоморфозы по анtimo-<br>ниту, реакция на <b>Sb</b>   |
| 24<br>Валлериит<br>$Cu_3Fe_4S_7$<br>Ромбич.<br>(псевдогексагон.) | 21–12<br>ДО-оч.резкое,меня-<br>ется цвет от желто-<br>белого до серого;<br>А-оч. высокая. | Белый-кремово-<br>желтый (как у<br>пентландита)               | 1–2<br>Н–50–93<br>(10)         | ФЗ-призматич., тельца<br>распада ланцетовид-<br>ные, лейстовидные,<br>хлыстовидные, "звез-<br>дочки"; АГ-почки, ка-<br>емки, включения ;ДВ-<br>наблюдаются | МХР на Си см. табл.9  | Сильно анизотропен, сильно<br>двуотражает с изменением<br>цвета. Ассоциирует с халь-<br>копиритом, пирротинном,<br>пентландитом                      |
| 25<br>Ванадинит<br>$Pb_5(VO_4)_3 Cl$<br>Гексагон.                | 17<br>ДО-слабое;<br>А-слабая  | Серый;<br>ВР-сильные го-<br>лубовато-<br>желтые до<br>красных | 2,5–3<br>Н–60–120<br>(10, 20)  | ФЗ-пластинчат. шесто-<br>ватая;<br>АГ- радиально-<br>лучистые  | ДТ-от $HNO_3$ и $HCl$ тем-<br>неет, желтый налет (в<br>косом свете) от <b>КОН</b><br>темнеет, белый налет;<br>МХР на <b>V</b> : растворит.<br>$HNO_3$ (1:20),<br>проявит.-ук-<br>суснокислый бензидин.<br>Синее окрашивание.<br>Растворит. $H_2SO_4$<br>(1:10); проявит. $H_2O_2$<br>10% -оранж. окрашива-<br>ние | Травление и МХР на вана-<br>дий и свинец. Парагенезис -<br>в зоне окисления  |

| 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7   |
|---|--|--|--|--|--|---|
| 26<br>Вейссит<br><i>Cu<sub>2</sub>Fe</i><br>Сингония неиз-<br>вестна                          | 28–31<br>ДО-заметное:<br>А-сильная   | Серо-белый                               | 3  | АГ-аллотриоморфно-<br>зернистые  | ДТ-действуют все реак-<br>тивы :коричн. окраши-<br>вание, с <i>HNO<sub>3</sub></i> , быстро<br>вскипает  | Похож на халькозин.<br>Ассоциации см.табл.12  |
| 27<br>Вернадит<br><i>MnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O</i><br>Скрытокристал.                    | 9<br>Изотропен   | Темно-серый,<br>ВР-коричневые            | 2–3                                      | АГ-колломорфные,<br>землистые  | МХР-отпечаток на <i>Mn</i><br>см. табл. 9  | Ассоциация с пиролюзитом,<br>псиломеланом и др.   |
| 28<br>Вильямит<br>( <i>Ni, Co, Sb, S</i> )<br>Кубич.  | 49–42<br>Изотропен   | Кремово-белый                            | 5,5                                      | С-по (100);<br>АГ-идиоморфно-<br>зернистые   | ДТ-в <i>HNO<sub>3</sub></i> медленно<br>вскипает, тускнеет, бе-<br>лый налет (в косом све-<br>те); МХР- отпечаток на<br><i>Ni, Co</i> см.табл. 9 | Реакции на <i>Ni, Co, Sb</i> .<br>Ассоциации см. табл. 12   |
| 29<br>Виоларит<br><i>FeNi<sub>2</sub>S<sub>4</sub></i><br>Кубич.                              | 46–38<br>Изотропен   | Коричневато-<br>белый (фиоле-<br>тов.)   | 4,5–5<br>Н-458 (50)                      | С-по (100);<br>ФЗ-изометричная, ок-<br>таэдрические крист.   | МХР на <i>Ni</i> см. табл.9  | Фиолетовый оттенок, высо-<br>кая тв.; вторичный по пент-<br>ландиту   |
| 30<br>Висмут самородн.<br><i>Bi</i><br>Гексагон.  | 67<br>ДО-слабое;<br>А-сильная  | Розовый (на<br>воздухе темне-<br>ет)     | 2–2,5<br>Н-16–26<br>(5, 10)              | С-по (0001) и (0221);<br>ФЗ-округлая, «вяза-<br>ная», скелетная;<br>АГ-дендриты, зерни-<br>стые; ДВ-полисинтет.,<br>паркет | ДТ-от <i>HNO<sub>3</sub></i> вскипает,<br>бурет; HCl,<br><i>FeCl<sub>3</sub>, HgCl<sub>2</sub></i><br>бурет; МХР на <i>Bi</i> см.<br>табл. 9     | Розовый цвет, высокое от-<br>ражение, низкая тв., двой-<br>ники, реакция на <i>Bi</i> . Ассо-<br>циации см. табл. 12  |
| 31<br>Висмутин <i>Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub></i><br>( <i>Sb, Se, Pb, Fe, Cu</i> )<br>Ромбич, | 49–38<br>ДО-отчетливое на<br>границах зерен;<br>А- сильная, цвет-<br>желтый, фиол. По-<br>гасание прямое | Белый (розова-<br>то-серый в мас-<br>ле) | 2<br>Н-118–172<br>(50), 110–136<br>(100) | С-по (010),<br>ФЗ-шестоват.,<br>удлиненные<br>кристаллы;<br>АГ-аллотриоморфно<br>зерн., ДВ давления                        | ДТ и СТ см.таб. 8.<br>МХР – отпечаток на <i>Bi</i><br>см. табл. 9  | Белый цвет с розоватым от-<br>тенком, сильная А, реакция<br>на <i>Bi</i> , отрицат. реакция с<br>KOH (отличие от ан-<br>тимонита).<br>Ассоциации см. табл.12. |
| 32<br>Виттихенит<br><i>Cu<sub>3</sub>BiS<sub>2</sub></i><br>Ромбич.                           | 35–28<br>ДО-оч.слабое;<br>А- слабая  | Серо-белый<br>(кремоватый)               | 2–3                                      | ФЗ-таблитч., тонко-<br>столбч., игольчатая,<br>изометричн.<br>АГ-аллотриоморфно-<br>зернистая                              | ДТ- от <i>HNO<sub>3</sub></i> желтеет,<br>от паров тускнеет;<br>МХР на <i>Cu, Bi</i><br>см.табл.9  | Распространенный минерал.<br>Темнее висмутина   |

| 1  | 2  | 3  | 4                              | 5  | 6  | 7  |
|--|--|--|--------------------------------|--|--|--|
| 33<br>Вольфрамит<br>( <i>Fe, Mn</i> ) $WO_4$<br>( <i>Ta, Sc, Mg</i> )<br>Моноклин. | 19–17<br>ДО-слабое по границам зерен;<br>А-отчетл., угасание косое                       | Серый;<br>ВР-темно-коричневато-красные             | 5–5,5<br>Н–232–626<br>(50)     | С- по (010);<br>ФЗ-идиоморфная, толстота-блитч., призматич.; ДВ часты;<br>З – грубая   | Реактивы не действуют  | Высокая тв., серый цвет, коричн. ВР, таблитч. кристаллы, отрицат. реакции. Ассоциации см. табл. 12.                |
| 34<br>Вольнскит<br>$AgBiTe_2$<br>Ромбич.   | 55–53<br>ДО-оч. слабое;<br>А-слабая  | Белый<br>(розоватый) в масле- бледно-пурпурный     | 2–3<br>Н- 55–59                | С- в одном направлении; ФЗ-мелкие включения в теллурувисмутите                         | МХР на <i>Ag</i> : растворит. $HNO_3$ (конц.), прояв $K_2CrO_4$ , -осадок оранжево-красн. цвета                          | Редкий минерал. Белый цвет с оттенками в воздухе и в масле. Светотравление, МХР на <i>Ag</i> и <i>Bi</i>           |
| 35<br>Вульфенит<br>$PbMnO_4$<br>Тетрагон.  | 16<br>ДО-слабое, в масле-яркое; А – отчетлив.  | Серый<br>(голубов.);<br>ВР-бесцв., желтые, оранже. | 2,5–3<br>Н- 190–214<br>(50)    | С- по (111);<br>ФЗ-таблитчат. шестоватая;<br>АГ-зернистые, иногда радиально-лучистые   | МХР- отпечатки на <i>Pb</i> , <i>Mo</i> см.табл.9  | Желтые и оранжевые ВР, МХР на <i>Pb</i> , <i>Mo</i> . Минерал зоны окисления <i>Pb-Zn</i> м-ний                    |
| 36<br>Вюртцит $Zn S$<br>Гексагон.  | 17<br>ДО-слабое в масле;<br>А-слабая   | Серый<br>(фиолет.)                                 | 3,5–4                          | С- по (1010),<br>АГ-колломорфные, конц.-зональн., радиально-луч.                       | МХР на <i>Zn</i> см.табл.9   | Колломорфные, радиально-лучистые агрегаты, реакция на <i>Zn</i> , двойников нет                                    |
| 37<br>Галенит $PbS$<br>( <i>Ag, Te, Se</i> )<br>Кубич.                             | 44<br>Изотропный   | Белый  | 2–2,5<br>Н- 64–110<br>(10, 20) | С- по (100);<br>ФЗ-идиоморфная, изометр.; АГ-аллотриоморфнозерн.;<br>З-после травления | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Pb</i> см. табл.9   | Эталон белого цвета, черные треугольники – выколки по спайности, низкая тверд., изотропность, реакция на <i>Pb</i> |
| 38<br>Галеновисмутин<br>$PbBi_2S_4(Sb, Se)$<br>Ромбич.                             | 43<br>ДО-сильное, меняется цвет: желт.-белый, серо-белый с коричн. отт.;<br>А-оч. сильн. | Белый  | 2,5–3,5                        | С- по(110);<br>ФЗ-пластинч., таблитч., игольчат.;<br>АГ- тонкозернистые, волокнистые   | ДТ- в $HNO_3$ вскипает и чернеет, осадок желтый виден в косом свете;<br>МХР-отпечатки на <i>Bi</i> , <i>Pb</i> см.табл.9 | Распространенный минерал. Белый цвет, лучистые АГ, тесная ассоц. с висмутовыми минералами, отпечатки на <i>Pb</i>  |
| 39<br>Гаусманит<br>$MnMn_2O_4$<br>Тетрагон.  | 19–16<br>ДО-сильное;<br>А-сильная, зеленов.-желтый эфф.                                  | Серовато-белый<br>(коричн.) ;ВР-красные, бурые     | 5–5,5<br>Н-541–613,<br>(100)   | С- по (001);<br>ФЗ-идиоморфная;<br>АГ-зернистые;<br>ДВ-полисинтет.                     | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Mn</i> см. табл.9   | Отчетлив. анизотр., яркие ВР, полисинтет. ДВ, реакция на <i>Mn</i>   |

| 1   | 2  | 3   | 4                            | 5  | 6   | 7  |
|---|--|---|------------------------------|--|---|--|
| 40<br>Гематит $Fe_2O_3$ . ( <i>Al</i> ,<br><i>Ti</i> , $Fe^{2+}$ , <i>Mn</i> , <i>Ca</i> )<br>Тригон.                 | 25<br>ДО-слабое;<br>А-сильная с цвет-<br>ным эффектом в си-<br>них и коричн. тонах | Белый (голубо-<br>ватый);<br>ВР-темно-<br>вишнево-<br>красные     | 6<br>Н- 920–1062<br>(200)    | ФЗ-таблитчатая листо-<br>ватая, изометричная;<br>АГ-шестоватые, лучис-<br>тые; ДВ-пластинчат.<br>роста и давления          | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Fe</i> см. табл. 9   | Белый цвет, красные ВР,<br>сильная А, высокая твер-<br>дость. Структуры распада<br>см. табл. 11  |
| 41<br>Геокронит<br>$Pb_5AsSbS_8$<br>( <i>Cu</i> , <i>Ag</i> , <i>Te</i> , <i>Sn</i> )<br>Моноклинный<br>(псевдогекс.) | 37–29<br>ДО-слабое;<br>А-отчетливая  | Белый   | 2,5<br>Н- 95–140<br>(20)     | С-по (001)<br>слабая; ФЗ-таблитчат.;<br>АГ-аллотриомор-<br>фнозернистые;<br>ДВ-пластинчат. (угаса-<br>ние пластинок косое) | ДТ -с $HNO_3$ быстро<br>вскипает, чернеет и вы-<br>явл. структуру, с $HCl$<br>слабо бурет; МХР на<br><i>Pb</i> см. табл.9       | Распространенный, похож на<br>буланжерит и джемсонит.<br>ДВ по (101) одинаковые по<br>ширине и различные по<br>толщине, паркетобразные |
| 42<br>Герсдорфит $NiAsS$ ;<br>( <i>Fe</i> , <i>Co</i> , <i>Sb</i> )<br>Кубич.   | 49–42<br>Изотропный  | Белый (желтый<br>или розовый)                                     | 5–5,5<br>Н- 520–588<br>(100) | С- по (100) с тре-<br>угольн. выкрошив., как<br>у галенита; ФЗ- идио-<br>морфн.,изометр.;<br>3-часто                       | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>As</i> : растворит.<br>$HNO_3$ (концент.), про-<br>яв. $(NH_4)_2MoO_4$<br>лимонно-желт. окраш. | Хорошая спайность, зональ-<br>ность, МХР на <i>As</i> , <i>Ni</i>  |
| 43<br>Гессит<br>$Ag_2Te$ ( <i>Au</i> )<br>Кубич., ниже<br>150°- монокл.   | 41–39<br>ДО-слабое;<br>А-сильная, слабая с<br>цветным эффектом                     | Серовато-белый<br>(розовато-<br>коричневый)                       | 2–3<br>Н- 31–44 (10)         | ФЗ-идиоморфн. крист.<br>редки; АГ-полигональ-<br>ные зерна;ДВ- поли-<br>синтет. в монокл. раз-<br>нов.                     | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Te</i> см. табл.9  | Очень плохо полируется,<br>низкая твердость, светотрав-<br>ление, МХР на <i>Te</i>   |
| 44<br>Гётит $FeO(OH)$<br>( <i>Mn</i> , <i>Al</i> , <i>Mg</i> , <i>Ca</i> )<br>Ромбич.                                 | 16-20<br>ДО-слабое, в масле<br>оч.резкое; А-отчетл.,<br>колломорфный-<br>изотр.    | Серый<br>(голубов.);<br>ВР-св. желтые,<br>красновато-ко-<br>ричн. | 5–5,5<br>Н-525–620<br>(100)  | ФЗ-тонкотаблитч.,<br>игольчат.; АГ- колло-<br>морфные, рад.-лучис-<br>тые , охристые                                       | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Fe</i> см. табл. 9   | Серый цвет, бурые ВР, фор-<br>ма нахождения (каемки,<br>псевдоморфозы, почки, кор-<br>ки)  |
| 45<br>Гидрогётит<br>$FeO(OH)nH_2O$<br>Гексагон.   | 19–17<br>А-слабая,<br>изотропен  | Серый<br>(голубов.);<br>ВР-от желтых<br>до коричн.                | 1–4–5<br>Н- 300–340          | АГ-колломорфные,<br>почков., сплошные зе-<br>млистые   | ДТ-не травится;<br>МХР на <i>Fe</i> см. табл. 9   | Серый цвет, желтовато-<br>бурые ВР, колломорфные,<br>рад.-луч. агрегаты, псевдо-<br>морфозы  |
| 46<br>Гидрогематит<br>$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$<br>Скрытокристал.   | 24-22<br>Изотропн.,<br>слабо анизотр.  | Серо-белый<br>(голубоватый);<br>ВР-вишн.-<br>красные              | 4–5<br>Н- 200-550            | АГ-колломофные, поч-<br>ковидн., землистые   | ДТ-не травится;<br>МХР на <i>Fe</i> см. табл.9  | Серо-белый цвет, красные<br>ВР, колломорфные, почко-<br>видн. АГ. Замещает магне-<br>тит, гетит, пирит                                 |

| 1  | 2   | 3  | 4                           | 5   | 6   | 7  |
|--|---|--|-----------------------------|---|---|--|
| 47<br>Гидроцинкит<br>$Zn_3(CoO_3)_2(OH)_6$<br>Монокл.      | 5<br>ДО-слабое;<br>А-слабая, колло-<br>морфный-изотр.                   | Темно-серый;<br>ВР-буроватые                 | 2-2,5                       | АГ-корки, землистые,<br>волоkn., скрытокри-<br>стал.  | ДТ-от конц. $HNO_3$ , $HCl$<br>темнеет  | Травится $HNO_3$ , (1:60) в теч.<br>10–15с. Встречается в зонах<br>окисл.  |
| 48<br>Глаукоdot<br>$(Co, Fe)AsS; (Bi)$<br>Ромбич.          | 55–51<br>ДО-слабое;<br>А-слабая, цветовой<br>эффект: желтый,<br>голубой | Белый<br>(кремово-<br>розовый)               | 5,5–6<br>Н- 841–978         | ФЗ-призматич.;<br>А-идиоморфно-<br>зернистые,<br>З- иногда  | ДТ- $HNO_3$ действует<br>слабо. СТ – $NH_4OH$<br>(25%); МХР на $Co, Fe$<br>см. табл.9 | Белый цвет, кремово-розов.<br>оттенок, слабо анизотр., час-<br>то зонален, слабо травится<br>$HNO_3$   |
| 49<br>Голландит<br>$BaMn^{2+}Mn_6^{4+}$<br>Тетрагон.       | 30–22<br>ДО-отчетл.;<br>А-сильная                                       | Серо-белый;<br>ВР-бурые по<br>границам зерен | 6<br>Н- 630                 | С- по (110);<br>ФЗ-удлинен.;<br>АГ-радиально-лучист.,<br>волоkn.; ДВ-полисин-<br>тет., решетчатые | ДТ-с $HNO_3$ и $HCl$ туск-<br>неет. Сильно травится<br>$SnCl_2$                       | Лучистое строение, параге-<br>незис см. табл.12  |
| 50<br>Графит С<br>Гексагон.                                | 15(5–22)<br>ДО-необыкновенно<br>высокое; А- очень<br>сильная            | Серый (корич-<br>неватый)                    | 1–2<br>Н-7–12 (5)           | С-по (0001); ФЗ-таб-<br>литчато-шестоват.<br>кристаллы; ДВ-фигуры<br>смятия                       | Реактивы не действуют   | Трудно полируется (разма-<br>зывается), низкая тв., очень<br>сильная анизотр. и ДО, реак-<br>тивы не дейст. Темнее мо-<br>либденита.             |
| 51<br>Гриноцит $CdS$<br>Гексагон.                          | 18<br>Изотропен   | Светло-серый<br>(синеватый)                  | 3,5<br>Н- 52–91 (10,<br>20) | АГ-землист., почки,<br>корки на сфалерите   | ДТ-от $HNO_3$ медленно<br>вскипает; МХР на $Cd$<br>см. табл. 9                        | Редкий. Реакция на $Cd$ . Па-<br>рагенезис см. табл.12   |
| 52<br>Делафоссит<br>$CuFeO_2$<br>Тригон.                   | 25–20<br>ДО-отчетл.;<br>А-отчетлив. цвет<br>синевато-серый              | Белый (розова-<br>то-коричн.)                | 5?5<br>Н- 240–470           | С-по (0001);ФЗ-таб-<br>литчат., листоватая;<br>АГ-друзы, сноповидн.,<br>почки, колломорфн.        | МХР-отпечаток на $Cu$ ,<br>$Fe$ см.табл. 9  | От тенорита отличается<br>прямым погасанием, реакци-<br>ей на $Cu, Fe$ . Крупнозерни-<br>стые массы очень редки                                  |
| 53<br>Джезказганит<br>$CuReS_4 (Mo, Pb)$<br>Скрытокристал. | 28<br>Изотропен   | Белый (розо-<br>ват.)                        | 4                           | АГ-почковидн., натеч-<br>ные, колломорфно-зо-<br>нальные с многочис-<br>ленными трещинами.        | МХР- от $KCN$ .<br>$HNO_3$ тускнеет   | Кривая дисперсии сложная с<br>пологим прогибом в желто-<br>зеленой области. В борните<br>и халькозине образует сетча-<br>тые прожилки и оторочки |

| 1   | 2   | 3                             | 4                               | 5  | 6   | 7  |
|---|---|-------------------------------|---------------------------------|--|---|--|
| 54<br>Джемсонит<br>$Pb_4FeSb_5S_{14}$<br>( <i>Ag, Cu, Zn</i> )<br>Моноклин.               | 43–37<br>ДО-отчетл.;<br>А-сильная, меняется<br>цвет от коричн. до<br>синего | Белый (слабый<br>зеленоватый) | 2,5–3<br>Н- 96–121<br>(20)      | С- по (001); ФЗ-иголь-<br>чатая; призм.крист. без<br>концевых граней;<br>АГ- радиально-лучист.,<br>аллотриоморфнозер-<br>нис- тые; ДВ-пласт. | ДТ и СТ см. табл. 8;<br>МХР- отпечаток на РЬ<br>см. табл.9  | Зеленоватый оттенок, силь-<br>ная А, форма зерен, агрега-<br>ты. Образует мирмекиты с<br>галенитом и сфалеритом  |
| 55<br>Дигенит $Cu_9S_5$<br>( <i>Ag, Se</i> )<br>Кубич.                                    | 23<br>Изотропен   | Голубой,<br>синий             | 2,5–3<br>Н- 30–74               | С- по (111); АГ-алло-<br>триоморфнозернистые,<br>скрытокристал.  | МХР на <i>Cu</i> см.табл.9  | Более синий, чем халькозин.<br>Образует твердые растворы<br>с борнитом, ковеллином, ха-<br>лькопиритом   |
| 56<br>Дискразит $Ag_3Sb$<br>Ромбич.   | 65<br>ДО-слабое;<br>А-слабая  | Белый<br>(кремово-<br>желтый) | 3,5–4<br>Н- 141- 169<br>(50)    | С-по (001) и (011);<br>ФЗ-эвгедральные таб-<br>лички, веретенообр.<br>пластинки;<br>ДВ-секториальн.  | ДТ-от $HNO_3, FeCl_3,$<br>$HgCl_2$ желтов., коричн.<br>Иризирующая пленка;<br>МХР на <i>Ag</i> см. волын-<br>скит | Высокая отраж. спос., анизо-<br>тропен (отличие от серебра<br>самор.), на воздухе тускнеет<br>(отлич. от сурьмы сам.),<br>средняя тв. (отличие от ви-<br>смута сам.). Твердый р-р<br>серебро-сурьма- дискразит |
| 57<br>Жозеит $Bi_3TeS$<br>Тригон.   | 68<br>ДО-сильное;<br>А-слабая   | Белый                         | 2                               | ФЗ-таблитчат.;<br>С- по (0001)   | ДТ-отрицат. реакции с<br>$KCN, KOH, HgCl_2$   | Похож на тетрадимит. На<br>кривой дисперсии имеет по-<br>логий максимум в желто-<br>оранж. обл. Высокотемпера-<br>турный, гидротермальный  |
| 58<br>Золото самородн.<br><i>Au; (Ad, Cu)</i><br>Кубич.                                   | 86–82<br>Изотропно. В скрещ.<br>николях не угасает                          | Ярко желтый                   | 2,5–3<br>Н- 50–59<br>(10, 20)   | ФЗ-изометричн.;<br>ДВ-пластинч. по (111);<br>АГ- пленки, колло-<br>морфн., почковидн.,<br>дендриты   | ДТ и СТ см. табл.8  | Желтый цвет, изотр., высо-<br>кое отражение, низкая тв.,<br>стойкость к реактивам  |
| 59<br>Ильменит $FeTiO_3$<br>( $Mn^{2+}, Fe^{3+}, Pb,$<br>$Sr, V, Co, Ni, Cr$ )<br>Тригон. | 21-18<br>ДО-слабое;<br>А-отчетл, пестрые<br>цветные эффекты                 | Серый<br>(коричн.)            | 5–6<br>Н- 593–734<br>(100, 200) | ФЗ-изометричн, таб-<br>литч., тельца распада;<br>ДВ-пластинч.  | ДТ и СТ см. табл.8  | Анизотропность, инертность<br>к реактивам. Образует мир-<br>мекиты с магнетитом и<br>шпинелью  |

| 1  | 2   | 3                                   | 4                                | 5  | 6  | 7  |
|--|---|-------------------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 60<br>Индит $FeIn_2Sn$<br>Кубич.   | 25<br>Изотропен   | Светло-серый                        |                                  | ФЗ-мелкие неправ.<br>включения в кварце  |  | Спектр отражения сходен со спектрами блеклых руд. Известен в сульф.-касситерит. м-нии    |
| 61<br>Калаверит $AuTe_2$<br>( $Ag, Fe, Sb$ )<br>Моноклин.                | 58<br>ДО-слабое, по границ. зерен;<br>А- отчетл.            | Белый (коричн.-желтый)              | 2,5–3<br>Н- 213–237<br>(20, 50)  | ФЗ-коротко-столбчат.;<br>АГ-эвгдр. вкрапления  | ДТ-пф $HNO_3$ медленно вскипает;<br>МХР на $Te$ см табл.9  | Реакция на $Te, Ag$  |
| 62<br>Канфильдит<br>$Ag_8SnS_6$<br>Кубич.                                | 18–24<br>ДО-заметно;<br>А-хорошая по границам зерен         | Бело-серый (розово-коричн.-фиолет.) | 2,5<br>Хрупок                    | ФЗ-пластинч.;<br>3-часто   |  | Световое травление   |
| 63<br>Касситерит $SnO_2$<br>( $Fe, Nb, Ta, Se, In, W, Mn$ )<br>Тетрагон. | 13–11<br>ДО-слабое, по границам зерен, отчетливое; А-четкая | Серый; ВН-бесцветн., бурые, желтые  | 6,5–7<br>Н- 731–1528<br>(200)    | ФЗ-изометричн., призматич.; АГ-зернистые, метаколлоидн.; 3-почти всегда; ДВ-простые роста и тонкопласт. Давления | МХР на $Sn$ : растворит. $HCl$ (1:1) + металл. $Zn$ -пленка металлич. $Sn$   | Очень плохая полировка, высокая тв., желтые или бурые ВР, низкое отраж., реакция на $Sn$ |
| 64<br>Киноварь $HgS$<br>( $Se, Te$ )<br>Тригон.                          | 30–26<br>ДО-слабое;<br>А-сильная                            | Белый (голуб.);<br>ВР-красные       | 2,5<br>Н- 64–98<br>(10, 20)      | С-по (1010); ФЗ-идиоморфная, округл.; АГ-аллотриоморфнозерн.   | МХР на $Hg$ : раскален перл соды или буры при быстром контакте оставляет пленку металла. Ртути                               | Низкая ТВ., красные ВР, сильная А, реакция на ртуть (пленку смотреть в косом свете)      |
| 65<br>Клаусталит<br>$PbSe$<br>Кубич.                                     | 50<br>Изотропен   | Белый                               | 2–3<br>Н- 49–63<br>(10)          | С-по (100) треугольн. выкрош.; АГ-тонкозернист.  | ДТ-с $HNO_3$ красный осадок, $FeCl_3$ желтый осадок; МХР на $Se$ : раств. $HNO_3$ (1:1), прояв. Тиомочевина-красное окрашив. | Высокое отражение, реакция на $Se$   |
| 66<br>Кобальтин<br>$Co As S$<br>Кубич.                                   | 52<br>Изотропен,<br>слабо анизотр.                          | Белый (розовый)                     | 5,5<br>Н- 948–1079<br>(100, 200) | С-по (100); ФЗ-кубич., октаэдрич., скелетн.; АГ-изометричные зернистые; 3-часто; ДВ-пластин.                     | ДТ и СТ см. табл. 8; МХР– отпеч. На $Co$ см. табл. 9   | Розовый оттенок, высокая ТВ., не травится, реакция на $Co$                               |

| 1  | 2  | 3   | 4                           | 5  | 6   | 7   |
|--|--|---|-----------------------------|--|---|---|
| 67<br>Ковеллин $CuS$<br>Гексагон.  | 27–22–4<br>ДО–сильное (цвет от серого до синего);<br>А–оч. сильная (цв. от синего до красного) | Синий на воздухе и в масле (редкий), синий на воз. и красный в масле – распр. | 1,5–2<br>Н- 77–90<br>(20)   | С – по (0001); ФЗ–таблитч., АГ– тонкие прожилки, каемки, сажистые, колломорфные                          | МХР на $Cu$ см табл. 9  | Синий цвет, сильная анизотр., ДО, цветной эффект анизотропии. Ассоциации см. табл. 12   |
| 68<br>Колумбит-танталит<br>( $Fe, Mn$ ) ( $Nb, Ta_2 \cdot O_6$ ; ( $Th, Ce, Y, Mn, Sn, Se, Pb$ ))<br>Ромбич. | 17–15<br>ДО–слабое по границам зерен;<br>А–слабая, прямое погасание                            | Серый (коричневатый); ВР–красные у танталита, желт.                           | 6–6,5<br>Н-727–882          | С-по (100); ФЗ-таблитч.; АГ-радиальн.–пучкообразн., аллотриоморфнозерн., Д В-полисинтет., 3-после травл. | Не травится   | Идиоморфные агрегаты, красные и желтые ВР, прямое погасание (отличие от вольфрамит), мозаичная структура в скрещ. николях. Структуры распада с касситеритом |
| 69<br>Креннерит<br>( $Au, Ag$ ) $Te_2$   | 58–54<br>ДО–слабое;<br>А–отчетл., нет полного погас.   | Белый (кремов.)   | 2,5<br>Н- 38–88<br>(10)     | С-по (001); ФЗ-призматич., тонко-таблитч., АГ-аллотриоморфнозерн.  | ДТ-с $HNO_3$ бурет, выявл. Структура; МХР на $Te$ см табл. 9          | Высокое отражение, отчетл. Анизотр., низкая микротв., реакция на $Te$   |
| 70<br>Крокоит $PbCrO_4$<br>Моноклин.   | 10<br>ДО–слабое, сильнее;<br>А–сильная   | Серый;<br>ВР-красновато-оранж.  | 2,5–3                       | ФЗ-призматич.; АГ-аллотриоморфнозерн.  | ДТ-от $HNO_3$ бурет, чернеет, интенсивно трав.; МХР на $Pb$ см.табл.9 | Оранжев. ВР, реакции на $Pb$  |
| 71<br>Кубанит<br>$CuFe_2S_3$<br>Ромбич.  | 40–37<br>ДО–слабое, отчетл.;<br>А–отчетл., цв. эффекты-коричн. до голуб.                       | Бронзово-белый, кремовый  | 3,5<br>Н- 199–228<br>(50)   | С-по (001) и (110); ФЗ-пластинч,- тельца распада в халькопирите; АГ- аллотриоморфнозернистые             | ДТ- $HNO_3$ (пары) за-травливается                                    | Сильная анизотр. (отличие от халькопирита, микротвердость меньше, чем у пирротина. Твердые растворы: халькопирит-кубанит (250–300°), пирротин-кубанит       |
| 72<br>Куприт $Cu_2O$<br>Кубич.   | 30–21<br>Изотропен, иногда аномально сильно анизотропен с заметным ДО                          | Белый (голубоват.); ВР-красно-красн.  | 3,5–4<br>Н- 205–207<br>(50) | С-по (111); ФЗ-октаэдрическая; АГ-идиоморфные, сплошные зернистые, жилки, каемки                         | ДТ и СТ см. табл.8, МХР на $Cu$ см.табл.9                             | Красные ВР, реакция на $Cu$ . Парагенезис см.таб. 12  |

| 1  | 2  | 3   | 4                                 | 5  | 6  | 7   |
|--|--|---|-----------------------------------|--|--|---|
| 73<br>Лёллингит $FeAs_2$<br>( $Co, Ni, Sb$ )<br>Ромбич.                    | 57–52<br>ДО-слабое;<br>А-сильная, цвет из-<br>меняется в желто-<br>голубых тонах | Белый<br>(слабый<br>кремовый)                                 | 5–5,5<br>Н- 635–741<br>(100, 200) | С-(010), (101);<br>ФЗ-вытянутая; АГ-<br>радиально-лучистые,<br>скелетные крист., ДВ-<br>полисинт, тройники | ДТ-с $HNO_3$ образуется<br>желтое пятно ;МХР на<br>$Fe$ см. табл.9         | От арсенопирита отличается<br>более низкой микротв., цве-<br>тами анизотр.                              |
| 74<br>Лепидокрокит<br>$FeO(OH)$<br>Ромбич.                                 | 20–16<br>ДО-отчетл.;<br>А-сильная  | Серовато-белый;<br>ЗР- коричн-<br>красные, краснов-<br>желтые | 4–5<br>Н- 690–803                 | ФЗ-таблитчат.; АГ-<br>радиально-лучистые   | ДТ и СТ см. гётит, МХР на<br>$Fe$ см. табл. 9                              | Таблитчатые и тонкотабл. кристал-<br>лы, сильная А, красные ВР, тесная<br>ассоциация с гётитом          |
| 75<br>Левингстонит<br>$HgSb_4S_7$<br>Монокл.                               | 37–30<br>ДО-умеренное; А-оч.<br>сильная.   | Белый (зелено-<br>ватый); ВР-темно-<br>красные                | 2,5<br>Н- 74–131<br>(25)          | С-по (001) и (100); ФЗ-<br>призматич.; АГ-столбч, во-<br>локн. ДВ- полисинтет.                             | ДТ-от КОН желтый налет,<br>МХР на $Sb$ см. антимонит                       | Темно-красные ВР, низкая тв., хо-<br>рошая спайность, трясляция. Ассо-<br>циация см. табл. 12           |
| 76<br>Линнеит $Co_3S_4$<br>( $Ni, Cu, Fe$ )<br>Кубич.                      | 48<br>Изотропен  | Белый оч.<br>яркий<br>(кремовый)                              | 5–5,5<br>Н- 525–542<br>(100)      | С-по (100); ФЗ-<br>октаэдрическая;<br>АГ- идиоморфнозерни-<br>стые   | ДТ-от $HNO_3$ медл. буре-<br>ет, от $HgCl_2$ бурет и<br>выявляет структуру | Изотропность и более низкая<br>микротв.-отличие от кобаль-<br>тина. Реакция на $Co$                     |
| 77<br>Люцитинит<br>$Cu_3As_4S_4$<br>Монокл.                                | 30–27<br>ДО-отчетл.; А-оч.<br>сильная с пестрыми<br>цвет. эффектами              | Коричневато-<br>желтый<br>(розовый)                           | 3,5–4<br>Н- 257–412<br>(50)       | АГ-аллотриоморфные<br>мелкозерн.; ДВ- поли-<br>синтет.   | СТ- $KMnO_4+H_2SO_4$   | От борнита отлич. анизотр. и<br>более высокой микротв. От<br>энаргита-присутствием ДВ                   |
| 78<br>Магнетит $Fe_3O_4$<br>(полиморфн. мо- дифик.<br>гематита)<br>Кубич.  | 25<br>Изотропен  | Белый (серовато-<br>синий);<br>ВР- темно-ко-<br>ричн-красные  | 5<br>Н- 357-387<br>(50)           |  |  | Замещает магнетит и лепидокрокит.<br>Сильно магнитен  |
| 79<br>Магнетит<br>$FeFe_2O_4$ ;<br>( $Mg, Mn, V, Ni, Cr,$<br>$Zn$ ) Кубич. | 21<br>изотропен,<br>аномально<br>анизотр.  | Серый (розовато-<br>коричн., си-<br>неватый)                  | 5,5–6,5<br>Н- 535–695<br>(100)    | ФЗ-октаэдр.; АГ-изо-<br>метричные зернистые;<br>ДВ-оч. часто почти<br>всегда                               | ДТ и СТ см. табл. 8;<br>МХР- отпеч. На $Fe$ см.<br>табл. 9                 | Серый цвет, высокая тв.,<br>магнитность. Содержит те-<br>льца распада ильменита, ге-<br>матита, шпинели |
| 80<br>Майченерит $PdBi_2$ ;<br>( $Te$ ) кубич.                             | Отражен, высокое.<br>Изотропен   | Светло-серый<br>(более темный,<br>чем галенит)                | 2,5                               |  | ДТ-с $HNO_3$ слабо вски-<br>пает, чернеет                                  |   |

| 1  | 2   | 3   | 4                                 | 5   | 6   | 7  |
|--|---|---|-----------------------------------|---|---|--|
| 81<br>Макинавит<br>$Fe_{1-x}S$<br>( <i>Cu, Cr, Ni, Co</i> )<br>Тетрагон. | 47–22<br>ДО-оч. сильное, цвето-<br>вые эффекты по-<br>добны графиту, А-<br>оч. сильная          | Кремове-<br>желтый до се-<br>рого                               | 2,5<br>Н- 52–58<br>(100)          | ФЗ-червеобразн. зерна<br>в пирротине, пентлан-<br>дите, халькопирите, ку-<br>баните; ДВ-пластинчат. | МХР на <i>Fe</i> см. табл.9   | Сильные ДО и А. Похож на<br>пирротин   |
| 82<br>Малахит<br>$Cu(OH)_2 CO_3$ ] Мо-<br>нокл.                          | 8–6<br>ДО-оч. сильное;<br>А-отчетл., косое по-<br>гасание                                       | Серый (розов.);<br>ВР-зеленые                                   | 3,5–4<br>Н- 124–156<br>(20)       | ФЗ-волокнистая, кол-<br>ломорфная; АГ-ра-<br>диально- лучистые;<br>С- по (001)                      | ДТ-интенсивно вскипает<br>в $HNO_3$ , $HCl$ с КОН-<br>голуб. Осадок; МХР на<br><i>Cu</i> см. табл.9 | Зеленые ВР, волокнистые<br>агр., вскипание в кислотах,<br>реакция на <i>Cu</i>                         |
| 83<br>Манганит<br>$MnO(OH)$<br>Монокл.                                   | 19–16<br>ДО-ясное;<br>А-сильная, пога-<br>сание прямое  | Серый (буров.);<br>ВР-кровоаво-<br>красные, жел-<br>товато-кор. | 4<br>Н- 367–459<br>(50)           | С-по (010); ФЗ-призма-<br>тич.; АГ-пучкообраз-<br>ные, рад.-лучистые;<br>ДВ коленчатые              | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Mn</i> см. табл. 9   | Красные ВР, наличие спай-<br>ности, угасание II удлине-<br>нию; реакция на <i>Mn</i>                   |
| 84<br>Марказит $FeS_2$<br>Ромбич.  | 56–50<br>ДО-сильное (корич-<br>неват., желтовато-<br>зеленов.); А-силь-<br>ная, изменяется цвет | Желтовато-<br>белый (розова-<br>тый, зеленов.)                  | 6–6,5<br>Н- 1228–<br>1681 (100)   | ФЗ-таблитчат.; АГ-<br>субгедральные, рад.-<br>колломорфные, сажис-<br>тые                           | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Fe</i> см. табл. 9   | Сильная анизотропия с цве-<br>товым эффектом: голубой,<br>зеленов.-желтый, красный,<br>сиреневый       |
| 85<br>Матильдит $AgBiS_2$<br>Ромбич.                                     | 44<br>ДО-слабое по грани-<br>цам зерен; А-отчетл.   | Белый<br>(желтоватый)   | 3,5                               | АГ-лапчатые,<br>зернистые   | ДТ- $HNO_3$ вскипание и<br>почернение, $HCl$ -быст-<br>рое почерн.                                  | Пластинки в галените -<br>структура распада  |
| 86<br>Маухерит<br>$Ni_4As_3$<br>Тетрагон.                                | 60<br>А-слабая  | Белый<br>(розовый<br>желтый)                                    | 5–5,5<br>Н- 685–724<br>(100, 200) | ФЗ-длинностолбчатая,<br>АГ-волокнистые, рад.-<br>лучистые, ДВ-поли-<br>синтет.                      | ДТ-от $HNO_3$ вскипает и<br>чернеет. СТ- $KMnO_4$ +<br>$H_2SO_4$ ; МХР на <i>Ni</i> см.<br>табл. 9  | Полируется прекрасно. От<br>никелина отличается отсут-<br>ствием в воздухе ДО и А                      |
| 87<br>Медь самородная<br><i>Cu</i> ; ( <i>Ag, As</i> )<br>Кубич.         | 87<br>Изотропна, но не<br>угасает   | Яркий розовый,<br>коричн. побе-<br>жал.                         | 2,5–3<br>Н- 96–104<br>(100)       | ФЗ-дендриты, скелеты;<br>АГ-аллотриоморфно-<br>зерн; ДВ-пласт., 3-по-<br>сле травл.                 | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на <i>Cu</i> см. табл. 9   | Высокое отражение, розо-<br>вый цвет, реакция на <i>Cu</i> . Об-<br>разует тверд. растворы с <i>As</i> |
| 88<br>Мельниковит<br>$FeS_2$<br>Скрытокристал.<br>Кубич.                 | 8–10<br>Изотропен;<br>А-ложная  | Светло-<br>Желтый до<br>густо-коричн.                           | 2–3                               | АГ-колломорфные,<br>скорлуповатые, лучи-<br>стые, трещины усыха-<br>ния                             | МХР на <i>Fe</i> см табл. 9   | Коллоидные формы, реакция<br>на <i>Fe</i>  |

| 1   | 2  | 3  | 4                         | 5  | 6   | 7   |
|---|--|--|---------------------------|--|---|---|
| 89<br>Менегинит<br>$Pb_{13}S_7S_{23}$<br>Ромбич.              | 43–35<br>ДО-слабое, по границам зерен;<br>А-сильная, погас, прямое | Белый (зеленоват., голубов.);<br>ВР-красные (иногда а масле) | 2,5<br>Н- 127–167 (50)    | С-по (010) и (001)-слабая; ФЗ-тонкопризматич.; АГ- волокнистые, игольчатые                 | ДТ-с $HNO_3$ вскипает, чернеет, белый осадок, пары $HCl$ -налет, СТ-конц. $HCl$ ; МХР на $Pb$                                       | Похож на буланжерит, джемсонит (отличается по дебаеграмме), антимонит (отличается слабым травлением KOH)  |
| 90<br>Метацинбарит<br>$HgS$<br>Кубич.                         | 24<br>ДО-слабое по границам зерен, изотропен, слабо А              | Сероватобелый  | 3<br>Н- 74–86 (10, 20)    | ФЗ-изометричная; АГ-массивные, сажистые, налеты, корки; ДВ- пластинч.                      | МХР на $Hg$ см. киноварь  | Полируется легко и хорошо. Изотропен, отсутств. ВР (отличие от киновари), двойники как у сфалерита, " реакция на $Hg$   |
| 91<br>Миаргирит<br>$AgSbS_2$ ;<br>( $As, Cu, Pb$ )<br>Монокл. | 35–28<br>ДО-заметн.;<br>А- сильная                                 | Белый (голубоватый);<br>ВР-вишневокрасн.                     | 2,5<br>Н- 104–127 (20)    | С-по (100), (010), (101);<br>ФЗ-таблитч.; АГ-зернистые; ДВ-иногда                          | Световое травление; МХР на $Sb$ см. антимонит; на $Ag$ см. акантит  | В отличие от блеклой руды-сильно А, красные ВР; от фрейбергита-мягче, А; от полибазита-высокое отраж. нет лейст; от сфалерита-красн. ВР, низкая тв., А; от штромейерита-наличием ВР |
| 92<br>Миллерит<br>$NiS$<br>Тригон.                            | 53<br>ДО-оч.слабое, по границам зерен;<br>А-ясная                  | Светложелтый   | 3–5,5<br>Н- 225–376 (50)  | С- по (1011) и (0112);<br>АГ-игольчатые, рад.-лучист.; ДВ-пластинч.                        | СТ- $HNO_3$ (конц.) и парами брома; МХР на $Ni$ см. табл. 9   | Желтый цвет, ясная А, игольчатое строение, реакция на $Ni$ ; микротв. больше, чем у халькопирита. Пластинки в линнеите, пирротине, виоларите  |
| 93<br>Молибденит<br>$MoS_2$<br>Гексагон.                      | 36–15<br>ДО-оч. сильное;<br>А-оч. сильная                          | Белый  | 1–1,5<br>Н- 4–10 (10)     | С-по (0001); ФЗ-таблитч., листоватая;<br>АГ-розетки; ДВ-полисинт.                          | Не травится   | Низкая тв., резкая А (при незначит. повороте николя появляются густо-чернильно-синие цвета), резкое ДО. Полировать лучше с $MgO$  |
| 94<br>Мышьяк самородн.<br>$As$ ;(Sb)<br>Тригон.               | 61–50<br>ДО-слабое;<br>А-отчетл.                                   | Белый  | 3,5<br>Н- 93–137 (20, 50) | С-по (0001); АГ-зернистые, концентр.-зональные, скорлуповат.; ДВ-тонкие пластинки, зонален | ДТ-с $HNO_3$ медленно вскипает, бурет и чернеет, с $FeCl_3$ быстро чернеет: СТ – $KMnO_4$ + $H_2SO_4$ ; МХР на $As$ см. аурипигмент | На воздухе тускнеет, чернеет, хорошо травится, реакция на $As$ , концентрические структуры. Хорошо полируется   |

| 1   | 2  | 3   | 4                        | 5  | 6  | 7   |
|---|--|---|--------------------------|--|--|---|
| 95<br>Нагиагит<br>$Pb_5Au(Te, Sb)_4 \cdot S_{5-8}; (Ag, Se)$<br>Монокл., псевдо-тетрагон. | 45–34<br>ДО-слабое; А-отчетл., цвет анизотропии: голубов.-серый, темно-коричн зеленоват. | Серо-белый»   | 1,5<br>Н- 58–129         | С-по (010); ФЗ-тонко-табл., призмат.; АГ-чешуйчатые; ДВ-паркетобр., мозаичные, полисинтет. | ДТ-от $HNO_3$ медленно темнеет; МХР на $Pb, Te$ см. табл. 9, на $Sb$ см. антимонит | Низкая тв., хорошая спайность, косое погасание, слабое ДО (в отличие от молибденита), табл. крист., МХР на $Pb, Te, Sb$ |
| 96<br>Невьянскит-сыертскит<br>$Jr-Os$<br>Гексагон.  | 67<br>ДО-оч.слабое; А-отчетл., цвета: голубовато-серый, коричн.                          | Белый (желтоват., голубов.)                           | 6–7<br>Н- 845–947        | С-по (0001); ФЗ-пластинч., таблитч.; АГ-аллотриоморфнозерн.; З- иногда                     | Не травится  | Высокая твердость и микротверд., цветовой эффект анизотропии, отрицат. действие реактивов, ассоциация (см. табл. 12)    |
| 97<br>Никелин $NiAs$<br>Гексагон.   | 58–46<br>ДО-яркое; А-оч. сильная, погасание прямое                                       | Розовый (желтов.)                                     | 5,5<br>Н- 412–489 (50)   | АГ-зернистые, концентр.-зональные, ради-лучистые, почковидные; З-часто; ДВ-катаклаза       | ДТ и СТ см. табл.8; МХР-отпеч. на $Ni$ см. табл. 9                                 | Розовый цвет, сильная А и ДО, высокая тв., реакция на $NiAs$ . Ассоц. см. табл. 12                                      |
| 98<br>Пентландит<br>$(Fe, Ni)_9S_8$<br>Кубич.   | 51<br>Изотропный   | Светло-кремовый                                       | 3,5–4<br>Н- 195–223 (50) | С-по (111); ФЗ-тельца распада в пирротине; АГ-аллотриоморфнозернистые                      | ДТ и СТ см. табл. 8; МХР- отпечаток на $Ni$ см. табл. 9                            | Светло-кремовый цвет (светлее пирротина), хорошая спайность, изотропность, реакция на $Ni$ , ассоциация (см. табл. 12)  |
| 99<br>Перовскит<br>$Ca TiO_3$<br>Кубич.(мон.)   | 15<br>Изотропный   | Серый (синеватый), в иммерс. синий; ВР- бесцв., бурые | 5,5<br>Н- 925–1050       | ФЗ-изометр., тельце распада в магнетите; ДВ-сложные  | Не травится  | Полируется прекрасно. Высокая тв. и микротв., ассоциация (см. табл. 12)   |
| 100<br>Петцит<br>$Ag_3AuTe_2$<br>Кубич. (ромбич.)   | 39–35<br>Изотропный (анизотр.); ДО-для ромбич, -заметно                                  | Серо-белый (лиловый, краснов.)                        | 2,5<br>Н- 46–54 (10)     | ФЗ-мелкие зерна, кубич. кристаллы; АГ-тонкозернистые, ДВ-пластинч.                         | ДТ-с $HNO_3$ быстро вскипает; МХР на $Te$ см. табл. 9                              | Оч. редкий. Красновато-лиловый оттенок, слабая А, реакция на $Ag, Te$   |
| 101<br>Пизанит<br>$(Fe, Cu)SO_4 \cdot 7H_2O$<br>Монокл.                                   | 4<br>ДО-слабое; А-отчетл.  | Темно-серый; ВР-св.-зелен., св.-синие                 | 2,5 Н- 120               | АГ-корки, почки, сталактиты, волокна   | МХР на $Cu$ см.табл. 9   | Светло-зеленые и светлосиние ВР; реакция на $Cu$  |

| 1   | 2   | 3   | 4                              | 5  | 6  | 7  |
|---|---|---|--------------------------------|--|--|--|
| 102<br>Пираргирит<br>$Ag_3SbS_3$<br>Тригон.   | 32–26<br>ДО-отчетл.;<br>А-сильная                                     | Белый (сине-серый); ВР-темно-карминово-красные            | 2–2,5<br>Н- 72–109<br>(20)     | С-по (1011); ФЗ-одиночн. кристаллы, зазубр. зерна; АГ-зернистые, столбчатые; З-выявл. травлением; ДВ-роста | ДТ и СТ см. табл. 8, световое травление при длит., освещении; МХР на $Ag$ : $K_2Cr_2O_7 + HNO_3$ оранжев.-красн. кристаллы | Голубоватый оттенок, карм.-красные ВР, реакция на $Ag$ и на $Sb$ (см. антимонит)   |
| 103<br>Пирит $FeS_2$ ;<br>( $Au, Ag, Co, Ni$ )<br>Кубич.  | 53–51<br>Изотропный, часто слабо анизотр.                             | Желтовато-белый   | 6–6,5<br>Н- 1144–1374<br>(100) | ФЗ-эвгедральная; АГ-зернистые, колломорфные; З-выявляется травл.   | ДТ и СТ см. табл.8; МХР- отпеч. на $Fe$ см. табл. 9  | Полируется оч. плохо. Широко распростран. желтовато-белый цв., высокая тв., эвгедральный, часто зонален                                    |
| 104<br>Пиролозит $MnO_2$<br>( $Fe, Ba, Na, K$ )<br>Тетрагон.  | 41–30<br>ДО-отчетл.;<br>А-сильная, оранжевый цвет. эфф.               | Белый, серовато-белый (кремов.)                           | 6–7<br>Н- 161–321<br>(50)      | С-по (110); ФЗ-призмат.; АГ-рад-луч., колломорфн., зонально-коллом.,сажистые                               | МХР на $Mn$ см. табл.9   | Полируется оч. плохо. От других марганцевых минералов отличается однозначно более высокой отраж. спос., высокой тверд, и отсутствием ВР    |
| 105<br>Пироморфит<br>$Pb_5(PO_4)_3Cl$<br>Гексагон.  | 10–8<br>А-ясная   | Серый; ВР-желтоват зеленоват                              | 3,5<br>Н- 186–262<br>(100)     | ФЗ-призматич.  | ДТ-хорошо травится $HNO_3$ ; МХР- отпеч. на $Pb$ см. табл. 9   | Серый цвет, призмат. ФЗ, желто-зеленые ВР, реакция на $Pb$ . Ассоциацию см.табл. 12  |
| 106<br>Пирротин $FeS$<br>( $Co, Ni, Cu, Mn, Zn$ )<br>Гексагон.,<br>Монокл.                                  | 42-37<br>ДО-отчетл.;<br>А-сильная, цв. эффект: желтов.-серый, коричн. | Кремовый  | 4<br>Н- 214–343<br>(50)        | АГ-аллотриоморфно-зернистые ; ДВ-полисинт. давления  | ДТ и СТ см. табл.8; МХР- отпеч. на $Fe$ см. табл. 9  | Кремовый цвет. отч. ДО, сильная А, магнитность, хорошая полировка  |
| 107<br>Пирохлор ( $Na, Ca$ ) <sub>2</sub><br>( $Nb, Ti$ ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ( $F, OH$ )<br>Кубич. | 13<br>Изотропн.   | Серый, ВР-интенсивн. Коричн., желт., оранжев., бесцветные | 5,5<br>Н- 514–764              | ФЗ-кубическая, октаэдрич.; АГ-зернистые; З-видна без травления   | Не травится  | Минераграфическое определение затруднительно. Парagenетическая асс. см.табл. 12  |
| 108<br>Пирсеит ( $Ag, Cu$ ) <sub>16</sub> As <sub>2</sub> S <sub>11</sub><br>Монокл.                        | 34–28<br>ДО-слабое, по границам зерен;<br>А-отчетл.                   | Серо-белые (зеленоват.); ВР-густо-красные                 | 2–3<br>Н- 180–192<br>(100)     | С-по (001); ФЗ-тонко-таблитч., АГ-аллотриоморфно-зерн.   | Светотравление. ДТ-отрицат. эфф. $HCl, HNO_3, KOH, FeCl_3$   | Низкая тв., отчетл. анизотр., густо-красные ВР. светотравл., ассоц.(см. табл. 12). Полируется плохо. Образует тверд. раствор с полибазитом |

| 1  | 2  | 3  | 4                             | 5  | 6   | 7  |
|--|--|--|-------------------------------|--|---|--|
| 109<br>Плагионит<br>$Pb_5Sb_8S_{17}$<br>Монокл.                        | 41–33<br>ДО-сильное;<br>А-сильная, косое по-<br>гасание    | Белый<br>(коричн.-<br>розовый);<br>ВР-густые,<br>красные | 2,5–3<br>Н- 150–205           | С-по (112); ФЗ-толсто-<br>табл., короткопризмат.;<br>АГ-зернистые  | ДТ-от $HNO_3$ чернеет,<br>$FeCl_3$ буреет, от $KOH$<br>краснеет; МХР на $Pb$<br>см. табл. 9, на $Sb$ см.<br>антимонит | Редкий минерал. Косое по-<br>гасание, красные ВР, силь-<br>ная А, травление $KOH$ , реак-<br>ции на $Pb, Sb$                           |
| 110<br>Платина $Pt$<br>( $Fe, Ir, Pd, Cu,$<br>$Rh, Ru$ )<br>Кубич.     | 79<br>Изотропна, в скрещ.<br>николях нет полной<br>темноты | Белый (голубо-<br>ватый, желтова-<br>тый)                | 4–4,5<br>Н- 114–146<br>(50)   | ФЗ-изометричная, куб-<br>нич.; АГ-аллотрио-<br>морфнозерн.; ДВ и<br>З-после травления                          | ДТ-реактивы не дейст-<br>вуют; СТ-царская водка<br>и $HCl+CrO_3$  | Белый цвет, высокое отра-<br>жение, инертное отнош. к<br>реактивам, ассоц. см. табл.<br>12. Полируется оч. Хорошо                      |
| 111<br>Плюмбоярозит<br>$PbFe_6(SO_4)_4$<br>$\cdot(OH)_{12}$<br>Тригон. | 8<br>А-сильная   | Серый;<br>ВР-желтые, кор-<br>ичн.- желтые                | 3,5–4,5                       | ФЗ-тонкопластинчатая;<br>АГ-землистые  | ДТ-травится на $HCl$ ,<br>$HNO_3$ ; МХР-отпечатки<br>на $Fe, Pb$ см. табл. 9  | Ассоциация (см. табл. 12),<br>реакция на $Fe, Pb$  |
| 112<br>Полибазит<br>( $Ag, Cu$ ) $_{16} Sb_2S_4$<br>Монокл.            | 28–25<br>ДО-по границам зер-<br>рен; А- умеренная          | Серо-белый (зе-<br>ленов.)                               | 2–3<br>Н- 108–114<br>(20)     | ФЗ-таблитч.; АГ-ал-<br>лотриоморфнозерн.   | ДТ-с $KCN$ -буреет, чер-<br>неет и выявляет струк-<br>туру, МХР на $Ag$ см.<br>волынскит                              | Незначительная тв., свето-<br>травление, анизотропия, ас-<br>соц. (см. табл. 12), реакция<br>на $Sb, Ag$                               |
| 113<br>Полидимит<br>$Ni_3S_4$<br>Кубич.                                | 49<br>Изотропен  | Белый<br>(розовый, кре-<br>мовый)                        | 4,5–5,5<br>Н- 362–449<br>(50) | ФЗ-октаэдр.; АГ-алло-<br>триоморфнозернистые;<br>С-по (100) и (111)  | ДТ и СТ-от $HNO_3$ слабо<br>вскипает, буреет и вы-<br>является структура;<br>МХР на $Ni$ см.табл. 9                   | Розовый, кремовый оттенок,<br>изотр., реакция на $Ni$ , ассоц.<br>(см. табл. 12)   |
| 114<br>Прустит<br>$Ag_3AsS_3$<br>Тригон.                               | 27–23<br>ДО-отчетл.;<br>А-сильная                          | Серо-белый (го-<br>лубов.);<br>ВР-кровоаво-<br>красн.    | 2,5<br>Н- 109–135<br>(20)     | С-по (1011); ФЗ-таб-<br>литч.; АГ-аллотрио-<br>морфнозерн., ДВ-пласт-<br>тинч.; Зональность на-<br>блюд. редко | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР на $Ag$ см. акан-<br>тит, на см. $As$ арсено-<br>пирит.                                    | При растирании на бумаге<br>оставляет кирпично-красную<br>черту (пираргирит – пурпур-<br>но-красную), красные ВР,<br>реакции на $AgAs$ |
| 115<br>Псиломелан<br>$nMn_2O_3 \cdot MnO_2$<br>Ромбич.                 | 30–20<br>ДО-заметно;<br>А-сильная, аморф-<br>ный– изотр.   | Серо-белый<br>(синий)                                    | 1–5–6<br>Н- 503–627<br>(100)  | АГ-колломофн., сфе-<br>рич., сажистые, ради-<br>ально-лучист., стала-<br>ктиты                                 | ДТ-от $HCl$ быстро тем-<br>неет, мгновенно тра-<br>вится $H_2SO_4$ ,<br>(1:1)+ $H_2O_2$ (30%)                         | Формы выделения, реакция<br>на $Mn$ , МХР с – $H_2SO_4 +$<br>$H_2O_2$  |

| 1  | 2   | 3  | 4                              | 5   | 6   | 7   |
|--|---|--|--------------------------------|---|---|---|
| 116<br>Раммельсбергит<br>$NiAs_2$<br>Ромбич.                     | 60–51<br>ДО-слабое; А-слабая, интенсивн. (пестрый цв. эфф.) | Белый  | 5,5–6<br>Н- 556–629<br>(100)   | ФЗ-призматич.; АГ-сплошные массы; ДВ-простые и полисинтет. Зональность характ.                      | ДТ и СТ см. табл.8, МХР на $Ni$ см. табл.9, на $As$ см. арсенопирит   | Анизотр., микротвердость ниже, чем у арсенопирита, реакция на $Ni$ , $As$                         |
| 117<br>Реальгар $AsS$<br>Монокл.                                 | 26–20<br>ДО-резкое; А-интенсивная (решают вн. рефлексy)     | Серо-белый; ВР-желто-оранжево-красные                        | 1,5-2<br>Н- 50–57<br>(10)      | С-по (010); ФЗ-пластинчатая, призмат.; АГ-землистые, аморфные                                       | ДТ см. табл. 8; МХР на $As$ см. аурипигмент   | Низкая тв.,оранж-красные ВР, реакция на $As$ , ассоц. (см. табл.12)                               |
| 118<br>Родохрозит<br>$Mn CO_3$<br>Тригон.                        | 7<br>А-отчетл.  | Темно-серый; ВР-бесцветные, розовые, розовато-коричневые     | 3,5<br>Н- 238–367<br>(50)      | АГ-сплошные зернистые   | ДТ-вскипает с $HNO_3$ , $HCl$ ; МХР-отпечаток на $Mn$ см. табл. 9   | Серый цвет, розовые ВР, вскипает в кислотах, замещается черными окислами $Mn$ . Реакция на $Mn$   |
| 119<br>Рутил $TiO_2$<br>( $Nb, Ta, Sn, Fe, Cr, V$ )<br>Тетрагон. | 20–17<br>ДО-слабое, по границам зерен; А-отчетл.            | Светло-серый; ВР-сильные бесцв., желтые, Краснов.-коричневые | 6–6,5<br>Н- 1074–1210<br>(100) | С- по (100), (110); ФЗ-длинностолбчатая, волосовидн.; ДВ-по многим направлениям                     | Не травится   | Высокая тв., яркие ВР, хорошая спайность, наличие двойников, реактивы не действуют, призматич. ФЗ |
| 120<br>Сафлорит<br>$CoAs_2$<br>Ромбич.                           | 58–51<br>ДО-слабое; А-оч. сильная, цветовой эфф. по зонам   | Чисто-белый  | 4,5–5<br>Н- 430–751<br>(100)   | ФЗ-призматическая; АГ- рад.-лучист., дендриты; ДВ и З-очень характерны                              | ДТ- $HNO_3$ образуются белые октаэдр. кристаллы; выявляет структуру   | Сильные колебания цветных эффектов анизотр., тройники –«сафлоритовые звезды»; реакция на $Co$     |
| 121<br>Селен $Se$<br>Тригон.                                     | 36–21<br>ДО-отчетл.; А-оч. сильная                          | Белый (коричн.-серый); ВР-темные красные                     | 2                              | ФЗ-тонкие единичные кристаллы; АГ-пучкообразн. кристаллич., гелевые                                 | МХР на $Se$ : $HNO_3$ + тиомочевина 10% – красное окраш.; $HCl$ (конц.)+ $SnCl_2$ – кирпично-красный осадок       | Полируется легко. Красные ВР, формы проявления, МХР на $Se$ . Очень похож на тенорит              |
| 122<br>Семсейит<br>$Pb_9Sb_8S_{21}$ ,<br>Монокл.                 | 42–32<br>ДО-оч. слабое; А-сильная, угасание прямое          | Белый (зеленов.)   | 2–2,5<br>Н- 116–153<br>(50)    | С-по (112); ФЗ-таблитчат. или столбчат.; АГ-корочки на галените с груборадиялым располож. индивидов | ДТ-с $HNO_3$ медл. вскипает, быстро чернеет; с $HCl$ быстро бурет; МХР на $Sb$ см. антимонит; на $Pb$ см. табл. 9 | Недостаточно исследован. Полируется хорошо. Реакции на $Sb$ , $Pb$                                |

| 1  | 2  | 3   | 4                              | 5  | 6   | 7  |
|--|--|---|--------------------------------|--|---|--|
| 123<br>Сенармонтит<br>$Sb_2O_3$<br>Кубич.                  | 30<br>Изотропный   | Серый   | 2–2,5<br>Н- 60–100             | АГ-корки аморфного строения, псевдоморфозы по антимониту   | ДТ-трав. $HCl$ (конц.); МХР на $Sb$ см. антимонит   | Псевдоморфозы по антимониту  |
| 124<br>Серебро самор. $Ag$ ;<br>( $Cu, Bi, Sb$ )<br>Кубич. | 96–93<br>Изотропный  | Яркий белый<br>I<br>1                         | 2,5–3<br>Н- 41–57<br>(10, 20)  | ФЗ-кубическая, дендриты, скелеты; АГ-аллотриоморфнозерн.: ДВ-пластинч., 3-выявляется травлением  | ДТ и СТ см. табл.8  | Высокое отражение, изотропность, светотравление. Полируется хорошо   |
| 125<br>Сидерит $FeCO_3$<br>Тригон.                         | 10–6<br>ДО-оч. сильное;<br>А-сильная                                       | Темно-серый;<br>ВР-бесцв., бурожелт.          | 3,5–4<br>Н- 369- 465<br>(50)   | С-по (1011); ФЗ-идиоморфная; АГ-землистые, оолиты, скрытокристал.; ДВ-полисинтет.  | ДТ-с $HNO_3$ , $HCl$ вскипает, буреет, выявляет структуру; МХР-отпечаток на $Fe$ см.табл. 9 | Серый цвет, сильное ДО, желтые ВР, травится кислотами, реакция на $Fe$   |
| 126<br>Сильванит<br>( $Au, Ag$ ) $Te_4$<br>Монокл.         | 51–60<br>ДО-отчетл.; А-оч. сильная (окраска от коричне. до розовато-белой) | Кремове-белый                                 | 1,5–2<br>Н- 91–149<br>(10, 20) | С-по (010), ФЗ-призматич. таблитч., дендриты, идиоморфная; ДВ-полисинтет., пластинки располаг. косо к погасанию  | ДТ-с $HNO_3$ быстро чернеет, с ц.в.-слабовскипает, налет, СТ-с $HNO_3$ ; МХР на $Te$        | Оч. сильное ДО и А, низкая тв., пластинчатые ДВ, реакция на $Te$ . Полируется хорошо   |
| 127<br>Скуттерудит $CoAs_3$<br>Кубич.                      | 60–53<br>Изотропный  | Белый<br>(слабый кремовый)                    | 5,5–6<br>Н- 589–729<br>(100)   | С-по (100); ФЗ-кубич. Зональность характерна   | СТ- $HNO_3$ (концентр.); МХР на $Co$ см.табл.9  | Белый цв., кубич. кристаллы, изотр., высокая тв., реакция на $Co$  |
| 129<br>Смитсонит $ZnCO_3$<br>( $Fe, Mn, Cd$ ).<br>Тригон.  | 8<br>ДО-отчетл.;<br>А-ясная  | Темно-серый;<br>ВР-белые, св.-зеленые, ;желт. | 5<br>Н- 409–420<br>(50)        | С-по (1011); АГ-зернистые, землистые, корки, почки   | ДТ и СТ-с $HNO_3$ , $HCl$ медленно вскипает и выявл. зональность; МХР на $Zn$ см. табл. 9   | Темно-серый цвет, сильная А, четкие ВР, реакция на $Zn$ , ассоц. (см. табл.12)   |
| 130<br>Станнин<br>$Cu_2FeSnS_4$<br>Тетрагон.               | 23–21<br>ДО-слабое;<br>А-отчетл., цвета: фиолет. и аспидно-зеленый         | Серо-белый<br>(оливково-зеленый)              | 3,5–4<br>Н- 206–307<br>(50)    | ФЗ-эвгедральная, эмульсионные и пластинчатые выделения распада; АГ-аллотриоморфнозерн.; ДВ-пластинч., микроклиноподобные, паркетные; 3-распределение продуктов распада | ДТ и СТ см. табл.8  | От похожей блеклой руды отличается анизотропией и более высотой микротвердостью. Оливково-зеленый оттенок, микроклиноподобные двойники. Образует структуры распада (минерал-хозяин) с халькопиритом, сфалеритом и сам является продуктом распада |

| 1   | 2   | 3   | 4                              | 5  | 6  | 7   |
|---|---|---|--------------------------------|--|--|---|
| 131<br>Стефанит<br>$Ag_3SbS_4$<br>Ромбич.   | 29–24<br>ДО-слабое;<br>А-сильная с яркими<br>цвет. эфф.– темно-<br>фиолет., зеленый | Серовато-белый<br>(розовый)                         | 2–2,5<br>Н- 26–47<br>(10)      | С-по (010); ФЗ-столб-<br>чатые кристаллы, мел-<br>кие выдел.; АГ-алло-<br>триоморфнозерн.; ДВ-<br>роста пластинч. широ-<br>ко распрот. | ДТ-с $KCN$ быстро чер-<br>неет, $FeCl_3$ слабо тем-<br>неет пятнами, с $KOH$ -<br>быстро появляется тем-<br>но-бурый осадок, вы-<br>явл. структуру; МХР на<br>$Ag, Sb$ | Розоватый оттенок, пластинч. двойники. От похожих прустита, пираргир., штро-<br>мейерита, миаргирита отли-<br>чается отсутствием внутр.<br>рефл. Полируется прекрасно                             |
| 132<br>Сурьма самород.<br>$Sb$ ; ( $Ag, Fe, As, Bi$ )<br>Гексогон.                  | 76–55<br>ДО-слабое;<br>А-ясная  | Ярко-белая  | 3–3,5<br>Н- 88–135<br>(20, 50) | С-по (0001); ФЗ-таб-<br>литч.; АГ-аллотрио-<br>морфнозерн., натечные<br>корки с рад.-лучист.<br>строением                              | ДТ-с $HNO_3$ -буреет,<br>чернеет, с $FeCl_3$ -буреет;<br>МХР на $Sb$ см. антимо-<br>нит  | Слабая анизотропия, спай-<br>ность, реакция на $Sb$ . Поли-<br>руется очень хорошо  |
| 133<br>Сфалерит $ZnS$<br>( $Ga, Ge, Fe, Cd, Hg$ )<br>Кубич.                         | 18–16<br>Изотропный.<br>С увелич. $Fe$ и телец<br>распада появляется<br>аниз.       | Серый;<br>ВР-бесцв., жел-<br>тые, ко-<br>ричневые   | 3,5–4<br>Н- 153–270<br>(50)    | С-по (110), АГ-алло-<br>триоморфнозерн.; ДВ-<br>полисинтетические  | ДТ и СТ см. табл. 8;<br>МХР на $Zn$ см. табл. 9  | Серый цвет (эталон), ко-<br>ричн.-желт. ВР, низкое от-<br>ражение, полисинтет. двой-<br>ники. Содержит тельца рас-<br>пада халькопирита, пир-<br>ротина, станнина, кубанита.<br>Полируется хорошо |
| 134<br>Талнахит<br>$Cu_9Fe_8S_{16}$<br>Кубич.                                       | 40<br>Изотропный  | Желтый  |                                |  |  | Талнахит отличается от халькопирита изотропностью и быстрым окислением на воздухе. Ассоч. см. табл. 12  |
| 135<br>Танталит<br>( $Fe, Mn$ ) $Ta_2O_6$<br>( $Th, Se, Y, Fe, Sn, Sc$ )<br>Ромбич. | 18–15<br>ДО-слабое; А-<br>отчетл., погас,<br>прямое                                 | Серый<br>(коричн.);<br>ВР-красновато-<br>коричневые | 6–6,5<br>Н- 724–882            | С-по (100); ФЗ-таб-<br>литч.; АГ-аллотрио-<br>морфнозерн.; ДВ-пла-<br>стинч., решетчатые   | Реактивы не действ.  | Идиоморфизм зерен, отрицат. действие реактивов. Похож на вольфрамит   |
| 136<br>Тенорит $CuO$<br>Монокл.   | 27–20<br>ДО-заметн.; А-от-<br>четл., цв. эфф.,–<br>синие и белые                    | Светло-<br>серовато-белый<br>(желтый)               | 3,5<br>Н-209–254<br>(50)       | АГ-землистые, скры-<br>токристаллич., рад.-<br>лучист.; ДВ-поли-<br>синтет.  | ДТ-от паров $HNO_3$ бу-<br>реет, от паров $HCl$ го-<br>лубовато-зелен. кайма;<br>МХР на $Cu$   | Желто-коричн. оттенок,<br>сильная анизотр., реакция на<br>$Cu$  |

| 1  | 2   | 3  | 4                           | 5   | 6  | 7   |
|--|---|--|-----------------------------|---|--|---|
| 137<br>Теннантит<br>$Cu_{12}As_4S_{13}$<br>Кубич.  | 29<br>Изотропный  | Серовато-белый (голубов., зеленов.); ВР-красн. | 3–4,5<br>Н-308–397<br>(50)  | ФЗ-изометричные кристаллы; АГ-аллотриоморфнозерн., ДВ-редко                 | СТ см.табл. 8; МХР на <b>Cu</b> см.табл. 9, на <b>As</b> см. арсенопирит                                   | Голубовато-зеленов. оттенок, красные ВР, реакция на <b>Cu, As</b>   |
| 138<br>Тетрадимит<br>$Bi_2Te_2S$<br>Тригон.        | 58–52<br>ДО-слабое; А-отчетл., цв. эфф.- голубов.-серый, желтоватый | Белый (розовато-желтоват.)                     | 1,5–2<br>Н- 25–76<br>(10)   | С-по (0001); ФЗ-толстотаблитч., пластинч.; АГ-аллотриоморфнозернистые       | ДТ-с $HNO_3$ вскипает, становится темно-коричн., от паров – налет; МХР на <b>Bi</b> и <b>Te</b> см.табл. 9 | Высокое отражение, низкая тв., хорошая спайность, реакция на <b>Bi</b> и <b>Te</b> . Полируется хорошо  |
| 139<br>Тетраэдрит<br>$Cu_{12}Sb_4S_{13}$<br>Кубич. | 27–20<br>Изотропн.  | Серо-белый, (зеленовато-коричневатый)          | 3–4<br>Н- 328–367<br>(50)   | ФЗ-изометричные крист.; АГ-аллотриоморфнозерн.                              | ДТ и СТ см. табл. 8; МХР на <b>Cu</b> см. табл. 9, на <b>Sb</b> см. антимонит                              | Зеленовато-коричн. оттенок, изотр., реакция на <b>Cu</b> и <b>Sb</b>  |
| 140<br>Троилит $FeS$<br>Гексагон.                  | 45–40<br>ДО-отчетл.; А-сильная                                      | Кремовый (розовый) на воздухе быстро тускнеет  | 4–4,5<br>Н- 192–277<br>(50) | ФЗ-округлые, каплевидные выделения в метеорном <b>Fe</b> , тонкие пластинки | ДТ-с $HNO_3$ , $HCl$ вскипает и выделяет $H_2S$ ; МХР на <b>Fe</b> см. табл. 9                             | Редкий парагенезис см. табл. 12   |
| 141<br>Тюрингит (лептохлорит)<br>Монокл.           | 5–3<br>Анизотропн.  | Темно-серый; ВР-от бесцветных до красных       | 2–2,5                       | АГ-чешуйчатые, аллотриоморфнозерн.  | Травится $HNO_3$ и $HCl$ ; МХР-отпечаток на <b>Fe</b> см. табл. 9  | Чешуйчатые, оолитовые агрегаты, парагенетич. ассоц. см. табл.12   |
| 142<br>Ульвошпинель<br>$TiFe_2O_4$<br>Кубич.       | 16<br>Изотропный  | Серый (коричн.)                                | 6–7                         | ФЗ-кубич., изометричн., тельца распада в магнетите                          | Не травится  | Продукт распада в магнетите, ассоциация (см. табл. 12). Замещается ильменитом   |
| 143<br>Ульманит<br>$NiSbS$<br>Кубич.               | 57–54<br>Изотропн.  | Белый  | 5–5,5                       | ФЗ-кубич. кристаллы; АГ-изометричные зерна; С-по (100),3- часто             | ДТ—с $HNO_3$ медленно буреет, СТ-ц.в. и конц. $HNO_3$ ; МХР-отпечаток на <b>Ni</b> см. табл. 9             | Высокая тв., высокое отражение. В отличие от гердорфита – не травится парами <b>Br</b> . Наблюдаются взаимозамещения с брейтгауптитом. МХР на <b>Ni</b> и <b>Sb</b> |

| 1  | 2   | 3   | 4                            | 5   | 6  | 7  |
|--|---|---|------------------------------|---|--|--|
| 144<br>Уранинит $UO_2$<br>( <i>Th, Pb, Y, TR, Fe</i> )<br>Кубич. | 15–12<br>Изотропн.  | Серый (коричн.)   | 3–6–7<br>Н- 782–839<br>(100) | С-по (100) и (111); ФЗ-идiomорфные кристаллы; АГ-гроздевидно-почковидн., округлые; ДВ-по(111), 3-оч. характерна | ДТ и СТ см. табл. 8; МХР-отпечаток на <i>U</i> см.табл. 9  | Ритмические структуры, сферические образования, окрашенные дворики, ярко окрашенные продукты выветривания. Метод радиографии           |
| 145<br>Фаматинит(стиблюционит)<br>$Cu_3SbS_4$<br>Ромбич.         | 25<br>ДО-слабое; А-сильная, цв. эфф. - коричн. до серо-зелен. Косое погасание | Розовый (фиолет.)   | 3,5–4<br>Н- 315–329<br>(50)  | АГ-мелко-аллотриоморфнозерн.; ДВ-полисинтет., звездчатые  | ДТ-с $HNO_3$ медленно буреет; МХР-отпечаток на <i>Cu</i> см. табл. 9, на <i>Sb</i> см. антимонит                           | Сильная анизотр., розовый цвет. Образует мелкие зерна в энаргите, борните, теннантите. Похож на энаргит (отличается двойникованием)    |
| 146<br>Ферримолибдит<br>$Fe_2(MoO_4)_3 \cdot 7H_2O$<br>Ромбич.   | 10<br>Изотропн.   | Серый, ВР-желтые, бурые   | 1–2                          | АГ-волокнистые, рад-лучистые, скрытокристалл.   | МХР на <i>Mo</i> : растворитель $HNO_3$ (1:1), проявит.– ксантогенат <i>K</i> . На фильтров. бумаге – пятно фиолет.-красн. | Волокнистые агрегаты, реакция на <i>Mo</i>   |
| 147<br>Франкеит<br>$P_5Sn_3S_2S_{14}$<br>Монокл.                 | 37–34<br>ДО-оч.слабое, по границам зерен ; А-слабая                           | Серовато-белый  | 1–2<br>Н- 23–52<br>(10)      | С-по (001); ФЗ-таблитчат.; пластинч.; АГ-зернистые; ДВ-пластинчат. смятия, клиновидные                          | ДТ - $HNO_3$ буреет, от паров – темнеет; МХР на <i>Sb</i> см. антимонит  | Низкая тв., слабая анизотр., реакция на <i>Sb</i>  |
| 148<br>Фрейбергит( <i>Ag</i> -содержащий тетраэдрит)<br>Кубич.   | 33<br>Изотропн.   | Серо-белый (оливково-желто-коричн.); ВР-слабые коричн.-краснов. | 3–4                          | АГ-аллотриоморфнозерн., изометричные  | ДТ-с $HNO_3$ медленно буреет, с <i>KCN</i> буреет; МХР-отпечаток на <i>Cu</i> см. табл. 9, на <i>Ag</i> см. вольфскит.     | Отражение несколько выше, чем у тетраэдрита, оливково-коричн. оттенок, реакция на <i>Ag, Cu</i> . Содержит тельца распада халькопирита |
| 149<br>Фрудит $PdBi_2$<br>Монокл.                                |   | Серо-белый  | 2,5                          | ФЗ-округлые зерна   | ДТ-с $HNO_3$ вскипает, коричн. Окрашивание с $FeCl_3$ -немедленное почерн.   | Ассоциация см. табл. 12  |
| 150<br>Халькантит<br>$CuSO_4 \cdot 5H_2O$<br>Триклин.            | 6–4<br>ДО-слабое; А-отчетл.   | Темно-серый; ВР-голубые зеленые, бесцветные                     | 2,5                          | АГ-корки, сталактиты, аморфные, волокнистые, рад.-лучистые  | Травится всеми стандарт. реактивами; МХР-отпечаток на <i>Cu</i> см. табл. 9  | Голубые внутр. рефлексы. травление, реакция на <i>Cu</i> . Образуется в зоне окисления медно-сульфидн. месторождений                   |

| 1   | 2   | 3  | 4                           | 5   | 6   | 7  |
|---|---|--|-----------------------------|---|---|--|
| 151<br>Халькозин $Cu_2S$<br>( <i>Ag, Fe, Mn, Se, Te</i> )<br>Ромбич.(до 103°),<br>кубич. (неодигени-<br>нит)- выше и ниже<br>78°, гексагон. -<br>свыше 103° | 31<br>ДО-оч. слабое,<br>А-изотропен. слабо<br>анизотр. (ромбич.),<br>прямое угас. | Синевато-<br>белый (розо-<br>вый)          | 2,5–3<br>Н- 70–98<br>(20)   | С-по (001) отдельн.(?);<br>АГ: гексагон.- пла-<br>стинчатый с сектор.<br>угас., ромбич.-грубо-<br>зернист. с отчетл.<br>спайн. (?), кубич.-<br>крупнозерн. массы с<br>весьма отчетл. спайн.<br>по (111) | ДТ и СТ см. табл. 8;<br>МХР на <i>Cu</i> см. табл. 9  | Сине-белый цвет, низкая тв.,<br>отсутствие ВР, поведение с<br>реактивами, реакция на <i>Cu</i> .<br>Содержит тельца распада<br>дигенита, борнита, джарлеи-<br>та. Супергенный халькозин<br>образует каемки, прожилки в<br>борните, халькопирите, га-<br>лените, сфалерите, бл. рудах.<br>Переходит в куприт, мала-<br>хит, азур. |
| Халькопирит<br>$CuFeS_2$<br>Тетрагон.   | ДО-оч. слабое;<br>А-оч. слабая  | Желтый<br>(эталон)                         | 3,5–4<br>Н- 184–223<br>(50) | АГ-аллотриоморфно-<br>зерн., тельца распада в<br>сфалерите; ДВ-поли-<br>синтет., решетч., лей-<br>стовидные   | СТ-см. табл. 8; МХР на<br><i>Cu</i> см. табл. 9   | Желтый цвет, очень слабая<br>анизотр., реакция на <i>Cu</i> .<br>Продукты распада валлериита,<br>сфалерита, кубанита,<br>станнина, борнита, миллери-<br>та   |
| 153<br>Хёгбомит<br>$Mg(Al, Fe, Ti)_4O_7$<br>Тригон.   | 8<br>ДО-слабое;<br>А-отчетл.  | Серый;<br>ВР-светло-<br>коричн., желтые    | 6,5                         | ФЗ-идиоморфн., тол-<br>сто-,тонко-таблитч.,<br>тельца распада в шпинели   | Не травится   | Низкое отражение, коричн.<br>ВР, высокая тв., инертность<br>к реактивам. Ассоц. см.<br>табл. 12  |
| 154<br>Хизлевудит $Ni_3S_2$<br>Тригон.  | 57<br>ДО-оч. слабое;<br>А-отчетл.   | Белый до жел-<br>товато-кре-<br>мового     | 4<br>Н- 250                 | С-по(1011); ФЗ-округ-<br>лые зерна; АГ-мозаич-<br>ные и прорастания с<br>пентландитом   | ДТ-интенсивно травит-<br>ся $HNO_3$   | Ассоциация см. табл. 12  |
| 155<br>Хлоантит $NiAs_3$<br>Кубич.  | 53<br>Изотропн.   | Белый<br>(желтов.<br>голубов.)             | 5–5,5<br>Н- 268–402<br>(50) | АГ-изометричные ал-<br>лотриоморфнозерн.;<br>З-часто  | ДТ-с $HNO_3$ буреет, вски-<br>пает. С $FeCl_3$ буреет; СТ-<br>$HNO_3$ , $FeCl_3$ , $H_2O_2$ 10 %, $FeCl_3$ 20 %, $KMnO_4$ +<br>$H_2SO_4$ ; МХР на <i>Ni</i> и <i>As</i> | Высокая тв., белый цвет,<br>изометричные зерна. Похож<br>на смальтин. МХР на <i>Ni</i> и <i>As</i>   |
| 156<br>Хризоколла<br>$CuSiO_3 \cdot nH_2O$<br>Скрытокристал.  | 4<br>Изотропн.  | Темно-серый;<br>ВР-св. зеленые,<br>голубые | 2–4                         | АГ-корки,землистые,<br>прожилки   | МХР на <i>Cu</i> см.табл. 9   | Темно-серый цвет, зеленова-<br>тые, голубоватые ВР, реак-<br>ция на <i>Cu</i>  |

| 1  | 2  | 3   | 4                                | 5  | 6  | 7   |
|--|--|---|----------------------------------|--|--|---|
| 157<br>Хромит $FeCr_2O_4$<br>(Al, Mg, Zn, Co, Ti)<br>Кубич.                            | 16<br>Изотропн.,<br>аномально<br>анизотр.  | Серый (коричн.);<br>ВР-красно-<br>коричн., отсут-<br>ств.с увелич. $Fe$ | 6,5<br>Н- 1036–<br>2566<br>(100) | ФЗ-изометричн, ок-<br>ругл.; АГ-зернистые;<br>З-наблюдается  | ДТ и СТ см. табл.8;<br>МХР- отпечаток на $Fe$<br>см. табл. 9   | Низкое отражение, изо-<br>тропн., краснов-коричн. ВР,<br>высокая микротвердость, ус-<br>тойчивость к реактивам. Ас-<br>соц. см. табл. 12  |
| 158<br>Церуссит $PbCO_3$<br>Ромбич.  | 12<br>ДО-ясное;<br>А-сильная,<br>изотропен   | Серый;<br>ВР-зеленовато-<br>желт., бурые                                | 3<br>Н- 158–278<br>(50)          | ФЗ-идиоморфн. кри-<br>сталлы; АГ-<br>мелкозернист., сплош-<br>ные, колломорфные                          | ДТ- $KCN$ не действует;<br>МХР: $CrO_3$ , 1%-ярко<br>желтый налет (отличие<br>от англезита); отпеча-<br>ток на $Pb$  | Серый цвет, ясное двуот-<br>раж., желто-бурые ВР, реак-<br>ция на $Pb$ . Минерал зоны<br>окисления  |
| 159<br>Цилиндрит<br>$PbSn_6Sb_2S_{15}$<br>(Fe, Si, Au, Ge)<br>Ромбич.                  | 41–34<br>ДО-оч. слабое; А-от-<br>четл. Погасание ко-<br>сое. В попер. се-<br>чении «неподвижн.<br>сферолит. крест» | Белый   | 2–2,5<br>Н- 66–77<br>(20)        | ФЗ-цилиндрич. кри-<br>сталлы; АГ-волоконист.<br>пластинч., концен-<br>трич.-скорлупов., рад.-<br>лучист. | ДТ-с $HNO_3$ и $FeCl_3$ бу-<br>реет, $KOH$ после сти-<br>рания оставл. серое<br>пятно; МХР на $Pb$ см.<br>табл. 9  | Серый цвет, отчетл. ани-<br>зотр., форма выделения, ре-<br>акция на $Pb$ . Концентры<br>толщиной 2 м. По границам<br>зерен появл. касситерит,<br>марказит, церуссит. Ассоц.<br>см. табл. 12 |
| 160<br>Цинкениит<br>$PbSb_2S_4$<br>Гексагон.   | 42–37<br>ДО-слабое;<br>А-отчетл., прямое<br>погас.   | Белый;<br>ВР-темно-<br>красные  | 3,5<br>Н- 162–207<br>(20, 50)    | ФЗ-таблитч.;<br>АГ-волоkn., рад.-<br>лучист.   | ДТ и СТ-с $HNO_3$ мед-<br>лен-но вскипает, бурет,<br>с $HCl$ слабо бурет,<br>KOH выявляет структу-<br>ру; МХР на $Pb$ см. табл.<br>9   | От других сульфосолей<br>свинца отличается действи-<br>ем KOH – выпадают звезд-<br>чатой формы образования.<br>МХР на $Pb$ и на $Sb$  |
| 161<br>Цинкит $ZnO$<br>(Fe, Mn)<br>Гексагон.   | 12<br>ДО-слабое;<br>А-оч. слабая   | Серый (желтов.,<br>розов.); ВР-жел-<br>тые, красные                     | 4–4,5                            | С-по (0001); ФЗ-округ-<br>лая; АГ-корки, вкрап-<br>ления   | ДТ и СТ- $KNO_3$ и $HCl$<br>ямчатая поверхность и<br>выявл. структура, с $FeCl_3$<br>темнеет и выявл. структ.,<br>желтый налет при про-<br>должит. травлении;<br>МХР на $Zn$ см. табл. 9 | Красные внутр. рефл., реак-<br>ция на $Zn$  |
| 162<br>Швацит ( $Hg$ -содер-<br>жащий тетраэдрит)<br>$Cu_{10}Hg_2Sb_4S_{13}$<br>Кубич. | 33<br>Изотропн.  | Серо-белый<br>(кремовый)  | 3–4                              | АГ-аллотриоморфно-<br>зернистые  | МХР на $Cu$ см. табл.9;<br>на $Hg$ см.киноварь   | Реакция на $Cu, Hg$   |

| 1   | 2   | 3  | 4                            | 5   | 6   | 7   |
|---|---|--|------------------------------|---|---|---|
| 163<br>Шеелит $\text{CaWO}_4$<br>( <i>Mo, Cu, TR</i> )<br>Тетрагон. | 10<br>ДО-не заметно;<br>А-оч. слабая  | Серый;<br>ВР-желтоватые,<br>белые                    | 4,5<br>Н- 392–412<br>(50)    | С-по (111);<br>ФЗ-изометричная  | ДТ - $\text{HNO}_3$ и $\text{HCl}$ разлагают с выделением желтого осадка; МХР на <i>W</i> : растворит. $\text{HCl}$ (конц.), проявит. $\text{SnCl}_2$ - пленка синего цвета                           | Идиоморфные зерна, реакция на <i>W</i> , люминесцирует голубым (иногда желтым)  |
| 164<br>Шмальтин<br>( <i>Co, Ni</i> ) $\text{As}_{3-x}$<br>Кубич.    | 62–58<br>Изотропн.,<br>анизотр.   | Белый<br>(кремовый)                                  | 5,5–6<br>Н- 616–729<br>(100) | С-по (100); ФЗ-изометричная; АГ-зернистые; 3-очень характерна                                       | ДТ и СТ-с $\text{HNO}_3$ вскипает, темнеет и выявл. структ. $\text{FeCl}_3$ выявляет структуру, с $\text{HgCl}_2$ – медленно бурет; МХР на <i>Co</i> см. табл. 9, на <i>As</i> см. <i>арсенопирит</i> | Высокая микротвердость (в отличие от хлоантита), зоннальное строение, реакция <sup>1</sup> на <i>Co</i> и <i>As</i>   |
| 165<br>Шпинель<br>$\text{MgAl}_2\text{O}_4$<br>Кубич.               | 10<br>Изотропн.   | Серый;<br>ВР-зеленые,<br>коричневые                  | 8                            | ФЗ-идиоморфные, кристаллы, тельца распада в магнетите   | Не травится   | Высокая микротверд., идиоморфная ФЗ, инертность к реактивам, тельца распада в магнетите. Распадается на ильменит+ульвошпинель   |
| 166<br>Штроемерит<br>$\text{AgCuS}$<br>Кубич.                       | 27<br>ДО-слабое;<br>А-сильная, цв. эфф.:<br>желтые, оранжев.<br>фиолетовые                            | Серовато-белый                                       | 2,5–3<br>Н- 38–44<br>(Ю)     | ФЗ-призматич.; АГ-аллотриоморфнозерн., каемки, прожилки; ДВ-пластинч., перистые («листья олеандра») | ДТ-с $\text{HNO}_3$ слабо тускнеет, выявл. спайность, с $\text{HCl}$ темнеет, $\text{FeCl}_3$ выявляет структуру; МХР на <i>Ag</i> см. акантит, на <i>Cu</i> см. табл. 9                              | Слабое двуотраж., цветовой эфф. анизотр., низкая микротв., реакция на <i>Ag</i> . Запрещен с акантитом. Структура олеандровых листьев. Замещает блекл. руду, халькозин, галенит, образует мирмекипы |
| 167<br>Эмплектит $\text{CuBiS}_2$<br>Ромбич.                        | 43–40<br>ДО-оч. слабое, по границам зерен;<br>А-сильная   | Светло-белый<br>(желтый, кремовый)                   | 2<br>Н- 158–238<br>(20, 50)  | С-по (010); ФЗ-удлинен. кристаллы; ДВ-пластинч.   | ДТ-с $\text{HNO}_3$ медленно вскипает, бурет; МХР-отпечатки на <i>Cu</i> и <i>Bi</i> см. табл. 9  | Отчетливая анизотр., спайность $\perp$ удлинению, низкая тв., реакция на <i>Bi</i> . Ассоц. см. табл. 12  |
| 168<br>Энарцит $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$<br>Ромбич.                 | 28–25<br>ДО-слабое, по гран.: зерен; А- сильная, цв. эфф. – фиол.-красный, св. зеленый, погас. прямое | Светлосерый<br>(розовый, зеленый.); ВР-темно-красные | 3<br>Н- 212–329<br>(50)      | С-по (110); ФЗ-столбчат., призматич., таблитч.; АГ-аллотриоморфнозернистые                          | ДТ и СТ-с $\text{KCN}$ быстро чернеет и выявл. структура; МХР на <i>Cu</i> см. табл. 9, на <i>As</i> см. <i>арсенопирит</i>   | Розовый оттенок (светлее борнита), сильная анизотр., темно-красные ВР, реакция на <i>Cu</i> и <i>As</i> . Замещается блеклой рудой, дает параморфозы по люциониту и замещается им                   |

Продолжение таблицы

| 1   | 2   | 3                                      | 4                          | 5  | 6  | 7                                |
|---|---|--|----------------------------|--|--|----------------------------------|
| 169<br>Ялпаит<br>$Ag_3CuS_3$<br>Тетрагон. | 32<br>ДО-слабое; А-<br>сильная, цв. 3тйц.-<br>без сине-фиолетов.<br>ТОНОВ | Белый<br>(кремовый);<br>ВР-красные (?) | 2,5–3<br>Н- 23–55<br>(100) | С-по (110); АГ-алло-<br>триоморфнозерн.;<br>ДВ-пластинч. в скрещ.<br>николях | ДТ-травится ц. в., све-<br>тотравление; МХР-<br>отпеч. на <b>Cu</b> см. табл. 9,<br>реакцию на <b>Ag</b> см. во-<br>лынскит. | Реакция на <b>Ag</b> и <b>Cu</b> |

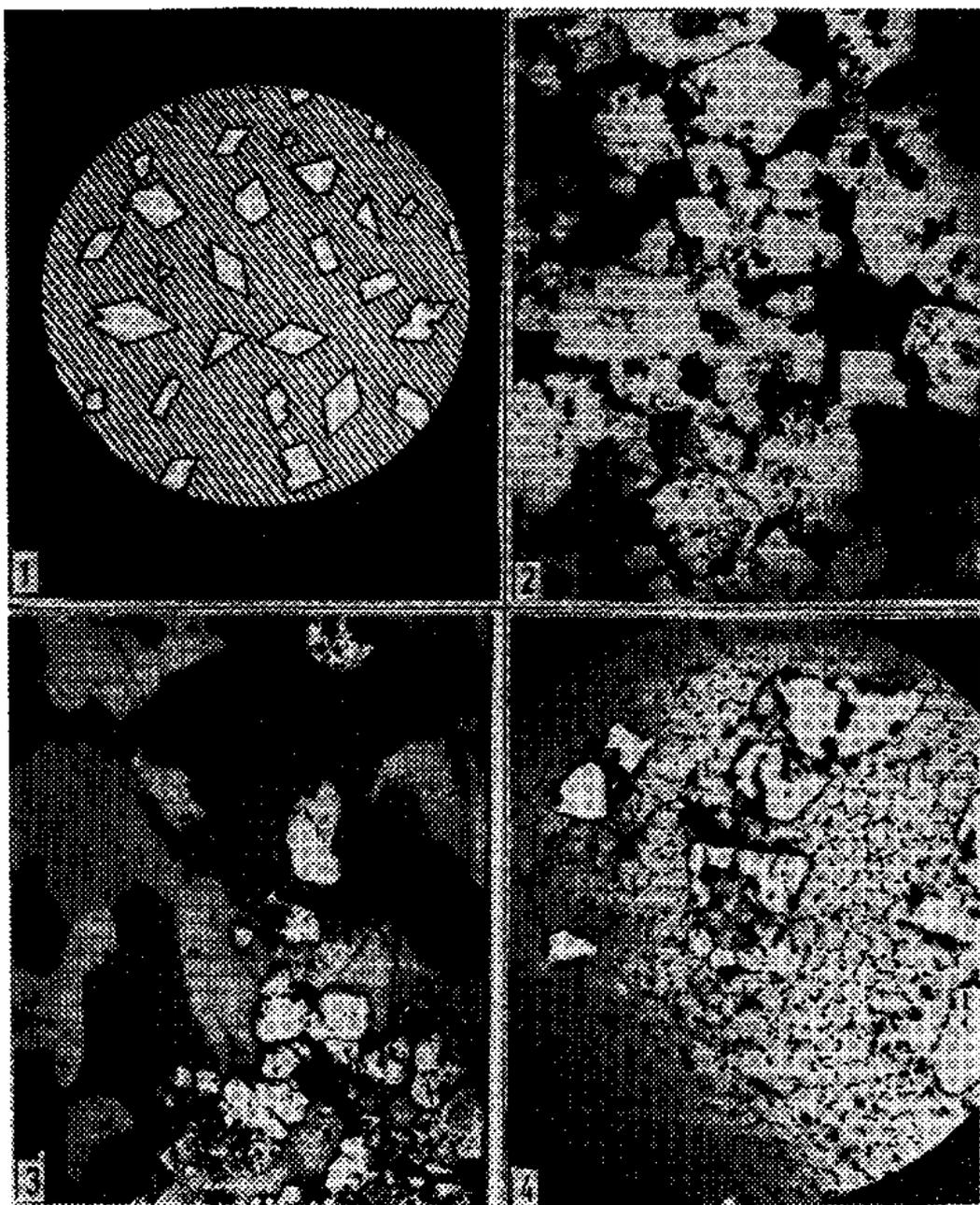


Рис. 34. Зернистые структуры: 1 – панидиоморфнозернистая. Арсенопирит в кварце. Ув. 60, рисунок аншлифа. Хинган; 2 – гипидиоморфнозернистая. Пирит с пойкилитовыми включениями сфалерита (серое) черное – нерудный. Ув. 90, Р. Алтай; 3 – аллотриоморфнозернистая. Рельефные зерна – пирит, серое–сфалерит, белое – галенит, черное – нерудный. Ув. 60: Р. Алтай; 4 – порфировая. Крупные корродированные зерна пирита в мелкозернистой массе халькопирита. Ув, 90, Р. Алтай

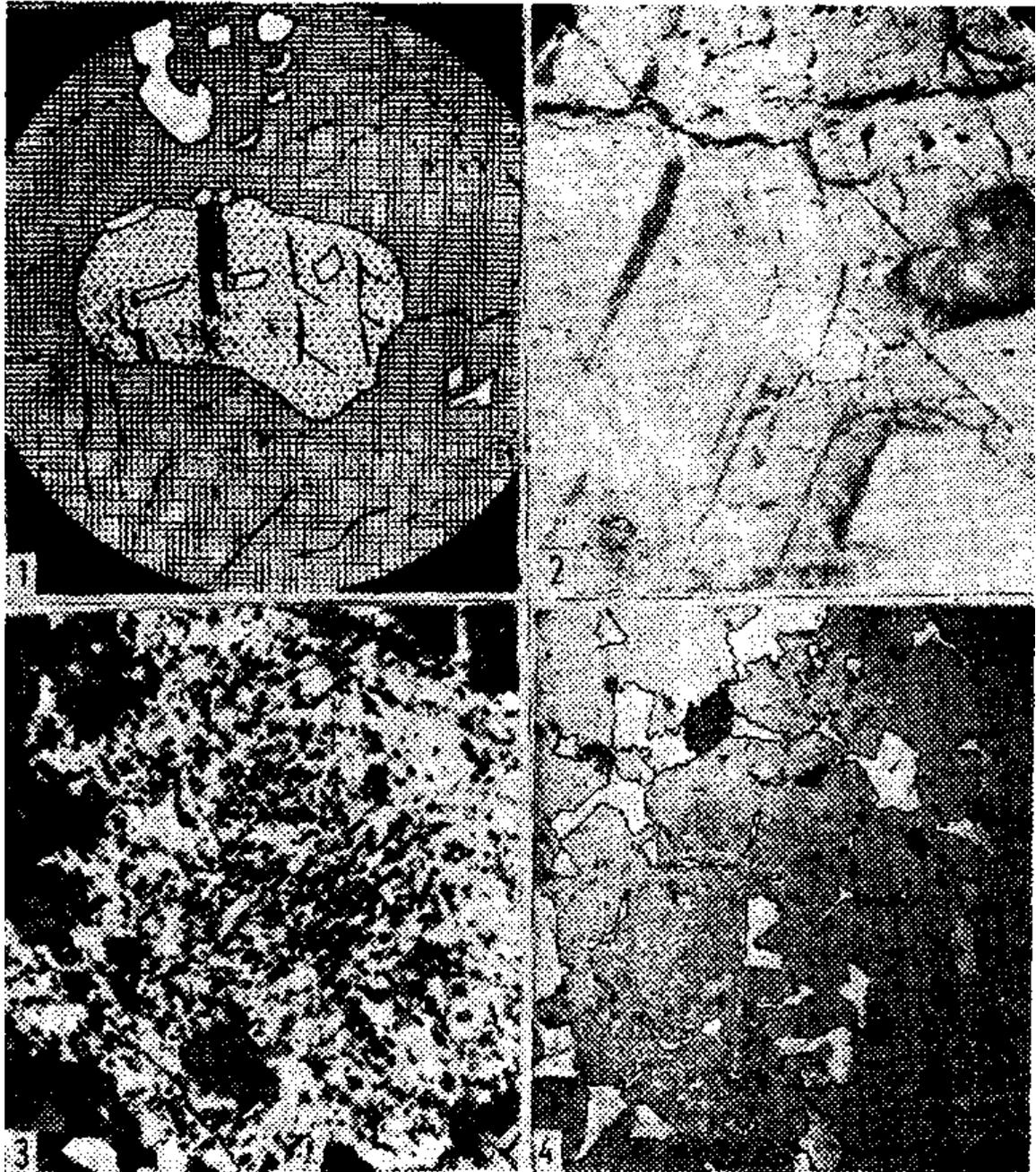


Рис. 35. Зернистые структуры: 1 – пойкиловая. Ильменит (белое зерно в центре снимка) в крупном зерне титаномагнетита. Ув. 150, Кузнецкий Алатау; 2– пойкиловая. Мелкие включения пирротина (белое) в крупном зерне титаномагнетита (точки), клеточка – нефелин. Рисунок аншлифа, ув. 90, Кузнецкий Алатау; 3 – графическая. Срастания пирротина (белое) и ильменита (серое), черное – нефелин. Ув. 150, Кузнецкий Алатау; 4– субграфическая. Червеобразные выделения галенита (белое) приурочены к границам зерен сфалерита (серое). Ув. 90, Р. Алтай



Рис. 36. Коррозионные структуры: 1—частичной коррозии и межзернового выполнения. Халькопирит (серое) и нерудный минерал (черное) выполняют промежутки между зернами пирита (белое). Ув. 60, Р. Алтай; 2— межзернового выполнения. Пирротин (белое) выполняет промежутки между частично корродированными зернами магнетита (серое). Ув. 60, В. Саян; 3 – каемочная. Халькопирит (белое) с периферии замещает зерна сфалерита (серое). Ув. 90, Р. Алтай; 4 – графическая. Сфалерит (серое) замещается галенитом (белое). Ув. 90, Р. Алтай

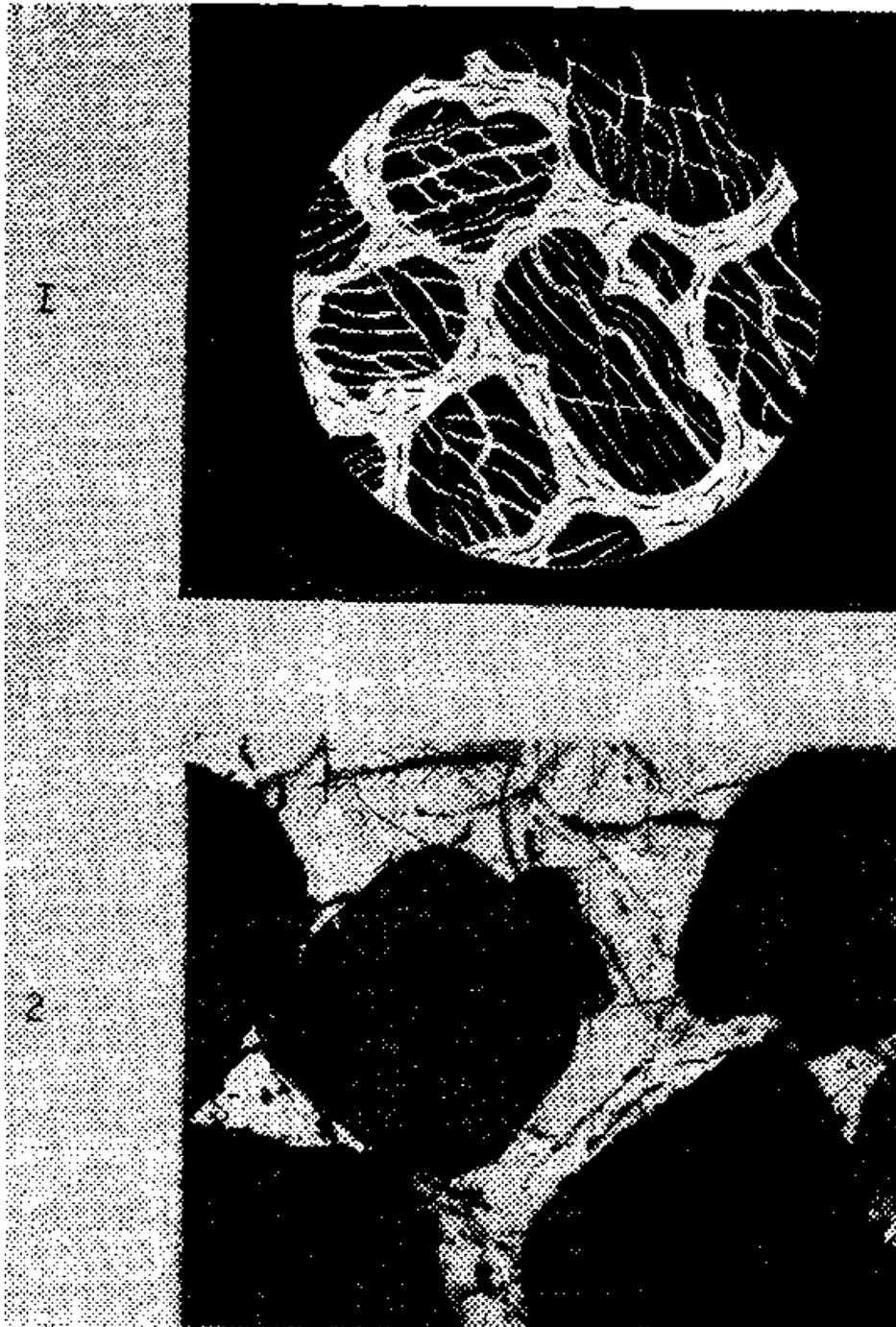


Рис. 37. Зернистые структуры; 1 – нодулярная. Округлые и неправильные зерна хромита (черное) заключены в массе более позднего серпентина (белое). Ув. 60, 3. Саян; 2 – сидеронитовая. Пирротин (белое) выполняет промежутки между ранее образованным нефелином (серое). Ув. 60. Кузнецкий Алатау

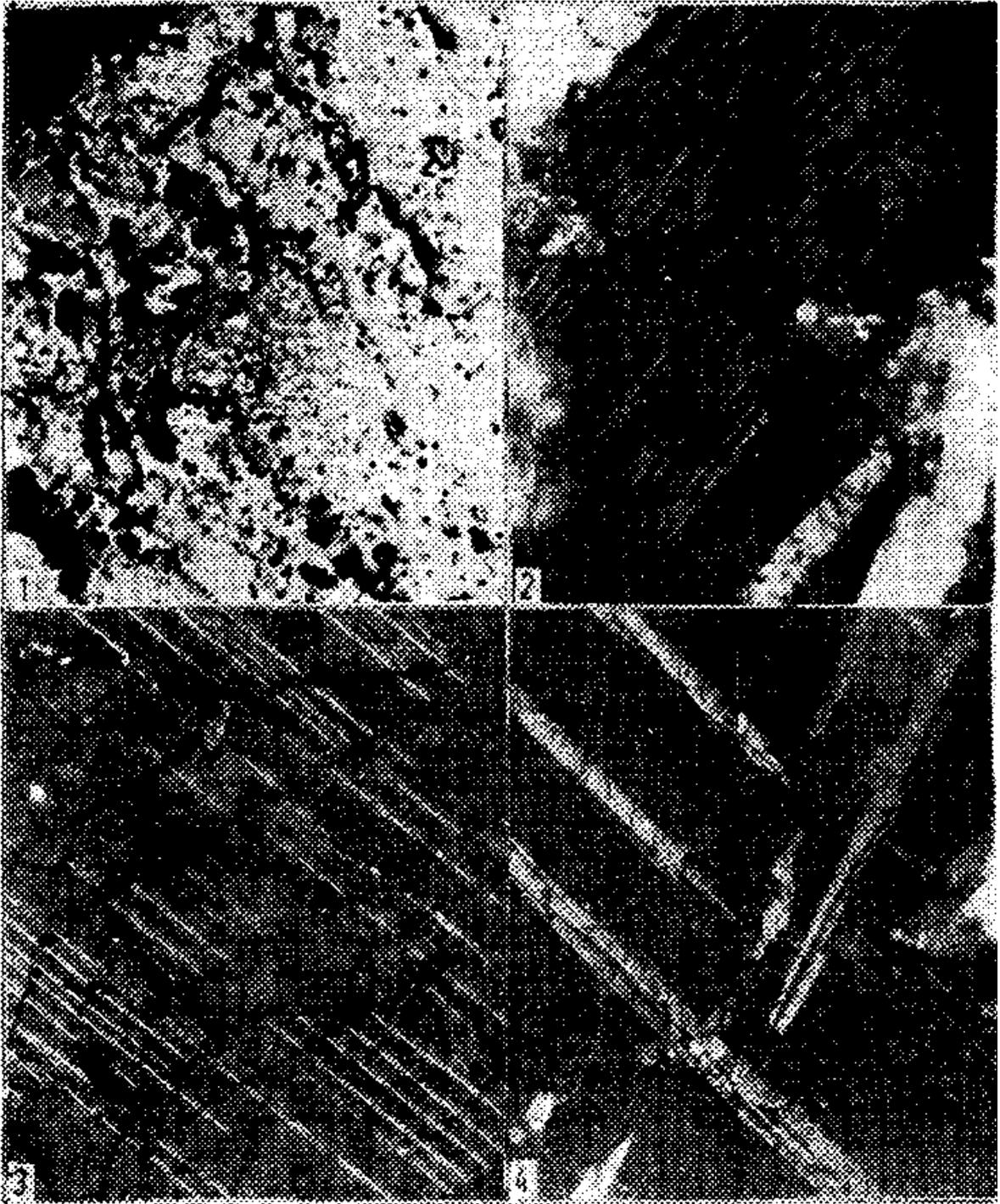


Рис. 38. Структуры распада твердых растворов: 1 – эмульсионная. Точечные выделения халькопирита (белое) в сфалерите–хозяине (серое). Ув. 90, Алтай; 2– пластинчатая. Магнетит–хозяин (серое) ильменит (белое). Николи х, ув. 150, Кузнецкий Алатау; 3 – решетчатая. Ильменит (белые и серые полосы) на фоне магнетита. В местах пересечений пластинки прерываются. Николи х, ув. 150, Кузнецкий Алатау; 4– груборешетчатая. Ильменитовая решетка в магнетите. Пластинки в местах пересечений прерываются и выклиниваются. Николи х, ув. 150, Кузнецкий Алатау

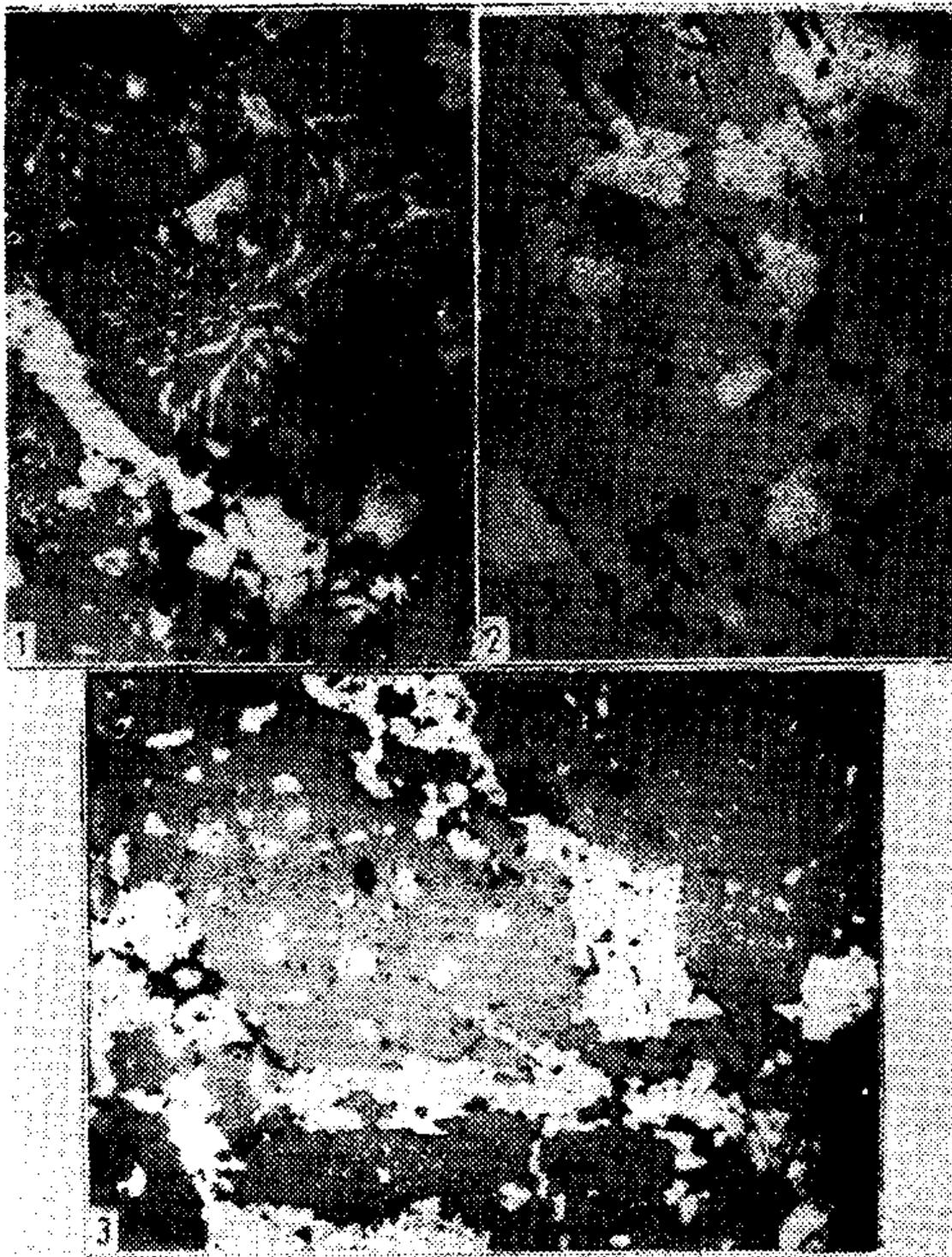


Рис. 39. Структуры распада твердых растворов: 1 – графическая. Узорчатые выделения халькопирита (белое) в сфалерите (серое). Ув. 60, Р. Алтай; 2 – субграфическая. Выделения пентландита (белое) в пирротине (серое). Ув. 240, Кузнецкий Алатау; 3 – петельчатая. Халькопирит (белое), сфалерит (серое) ув. 60, Р. Алтай

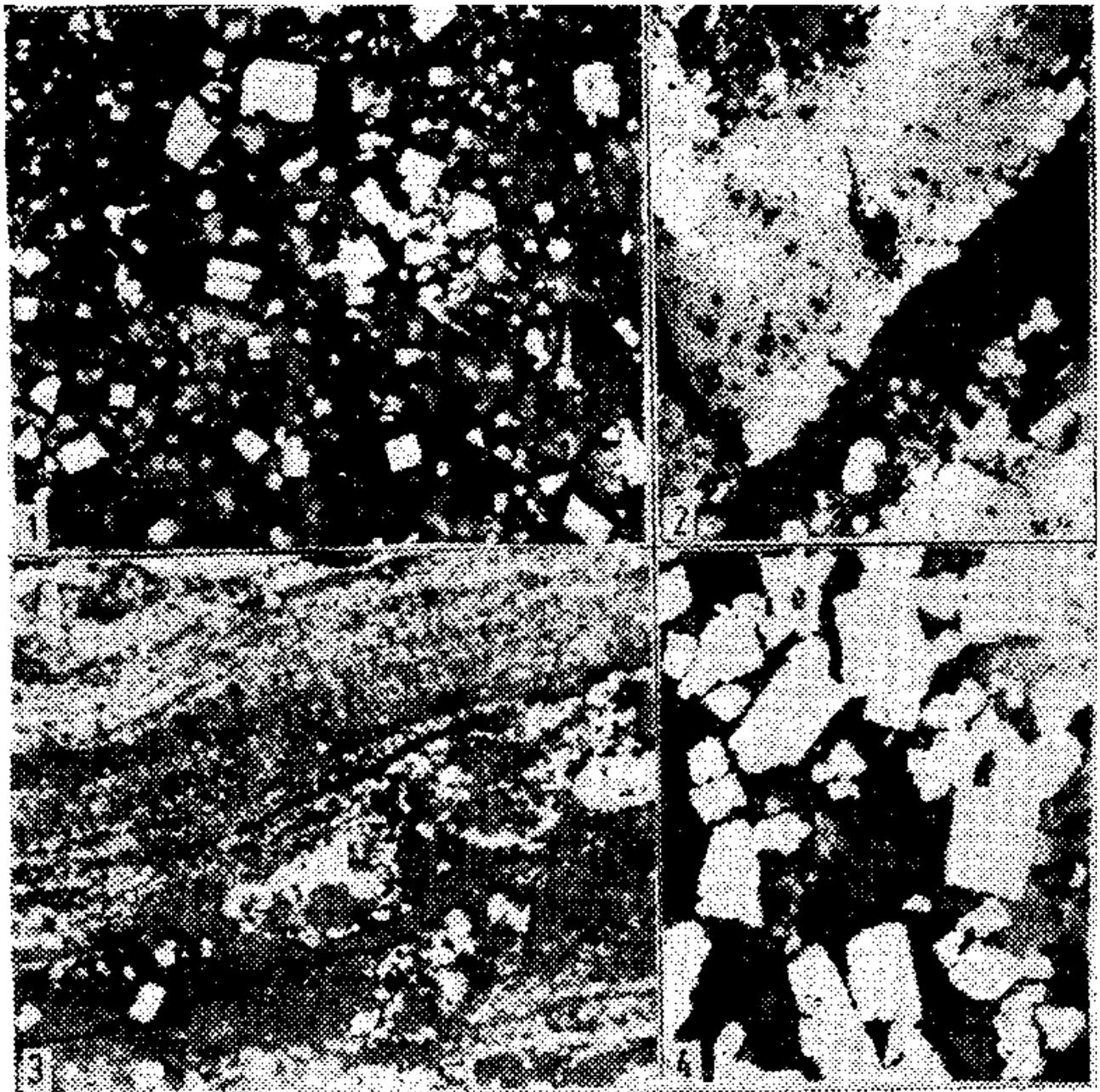


Рис. 40. Мета(бласт) зернистые структуры: 1–панидиоморфнобластзернистая. Идиоморфные зерна пирита в нерудном минерале. Вкрапленная текстура. Ув. 60, Р. Алтай; 2 – гипидиоморфнобластзернистая. Идиоморфные и неправильные зерна пирита (белое) образованы в результате перекристаллизации по краю трещины и по границам неправильных зерен сфалерита. Ув. 90, Р. Алтай; 3 – ориентированно-бластическая. Перекристаллизованные зерна пирита (белое) в сфалеритовой массе. Намечается кольцевое (атолловое) распределение пирита (в центре снимка). Ув. 60, Р. Алтай; 4 – порфиробластическая. Идиоморфные зерна пирита без следов коррозии в сфалерите и халькопирите (серое и темно-серое). Ув. 90, Р. Алтай

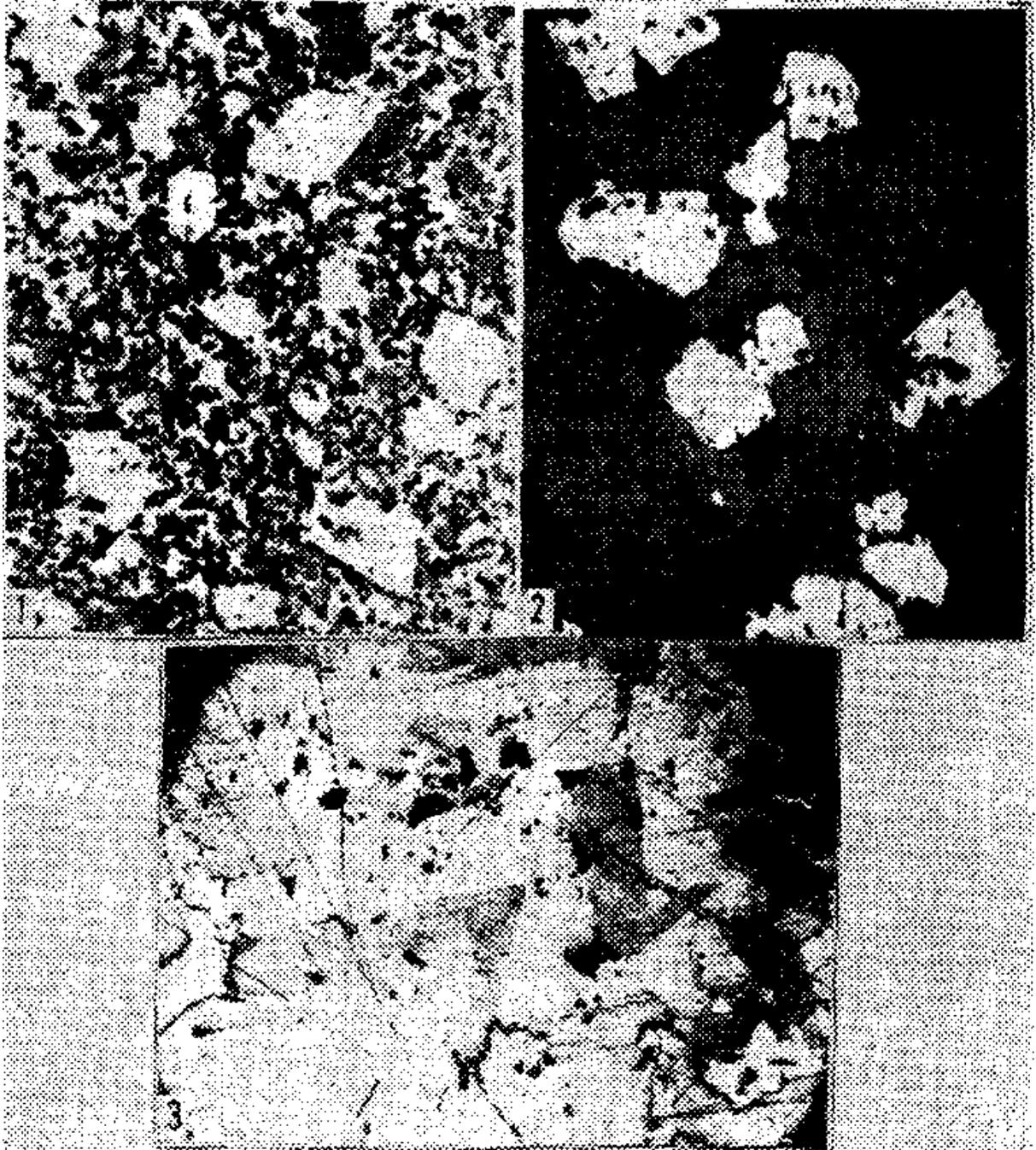


Рис. 41. Мета (бласт)зернистые структуры: 1—пойкилобластовая. Крупные зерна (порфиробласты) арсенипирита (белое) с пойкиловыми включениями касситерита (серое) и кварца (темно-серое). Ув. 90, Хинган; 2 – скелетная. Метасоматический магнетит с включениями нерудного минерала. Ув, 60, В. Саян; 3 – скелетная. Метасоматические образования сфалерита (серое) в халькопирите (белое). Ув. 90, Р. Алтай

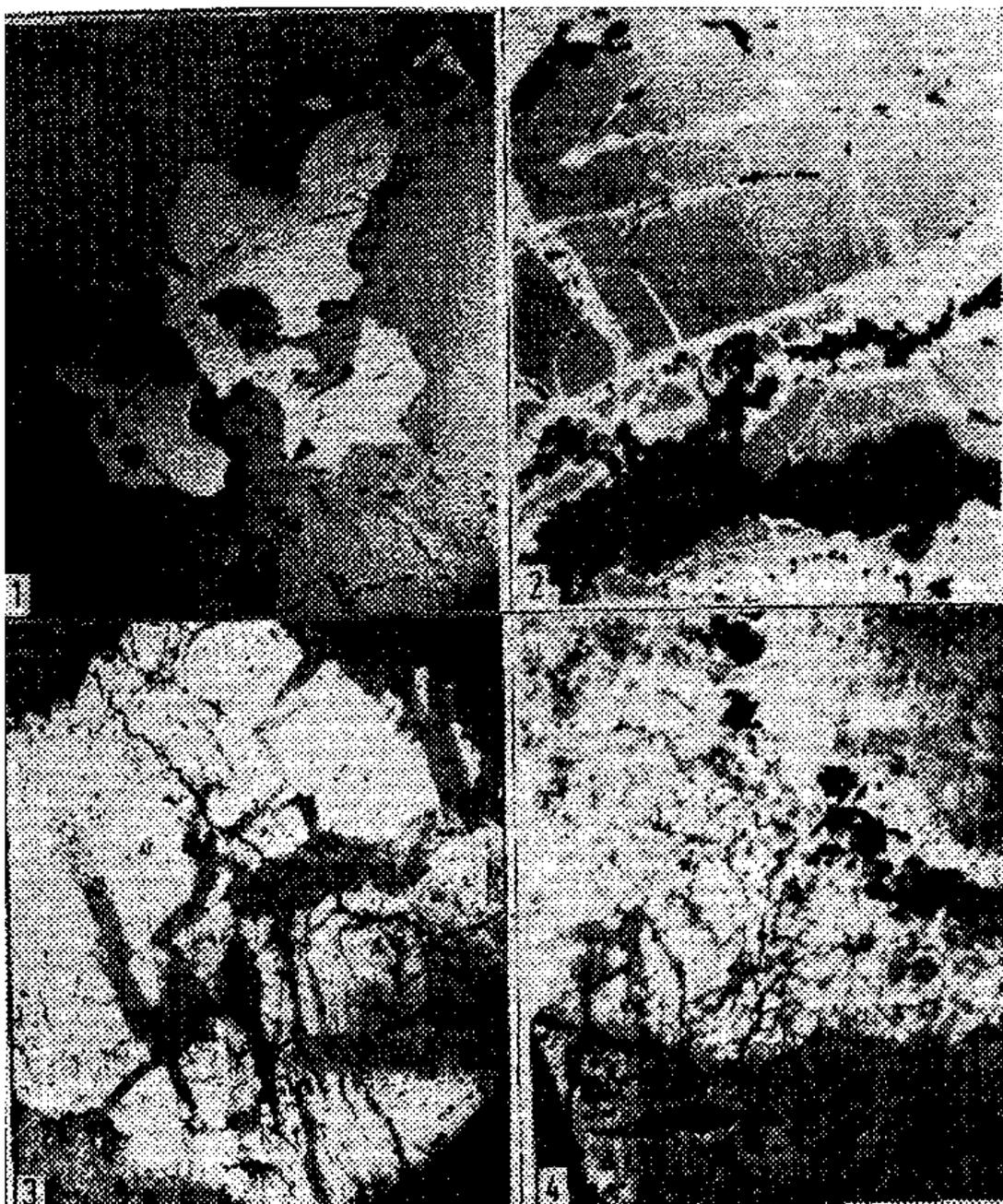


Рис. 42. Структуры замещения: 1—коррозионная. Ильменит (белое) корродируется и замещается лейкоксеном (серое). Ув. 90, Кузнецкий Алатау; 2 — прожилковая, сетчатая. Прожилки магнетита (белое) в эпидоте. Ув. 60, В. Саян; 3 — прожилковосетчатая. Халькопирит (белое) замещается малахитом (серое). Ув. 90, Р. Алтай; 4 — сетчатая. Халькопирит (белое) замещается по сети тонких трещин халькозином и малахитом. Ув. 90, Р. Алтай

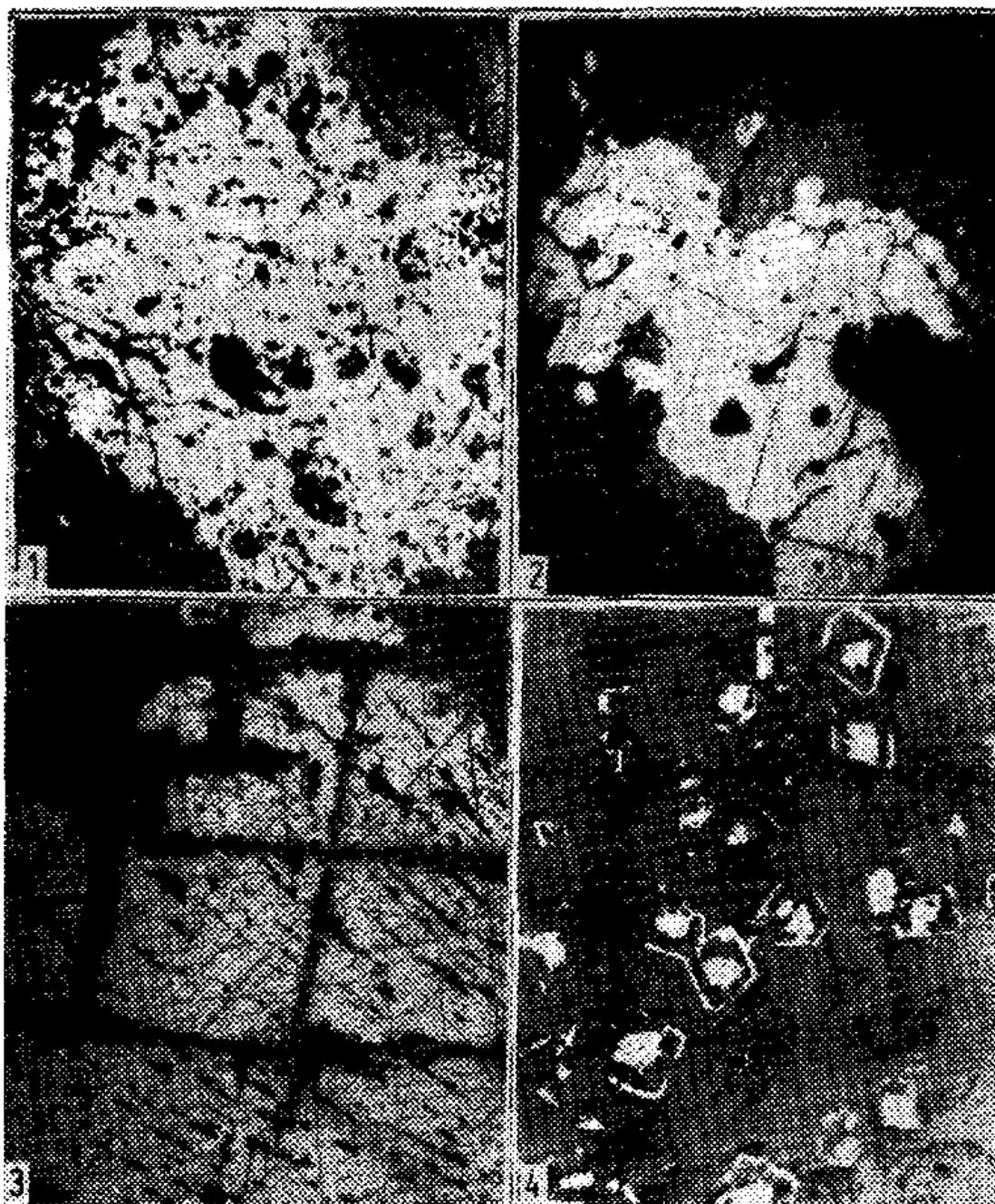


Рис. 43. Структуры замещения: 1 – нитевидная. Замещение халькопирита (белое) ковеллином (серое). Ув. 60, Р. Алтай; 2– петельчатая, каемочная. Халькопирит (белое) замещается борнитом (серое) с периферии зерен и по тонким трещинам. Ув. 90, Хинган; 3 – решетчатая. Галенит (серое) замещается по спайности церусситом. В местах пересечения трещин наблюдаются раздувы. Ув. 90, Р. Алтай; 4 – скелетная. Магнетит (белое) замещается карбонатом (серое). Ув. 90, В. Саян

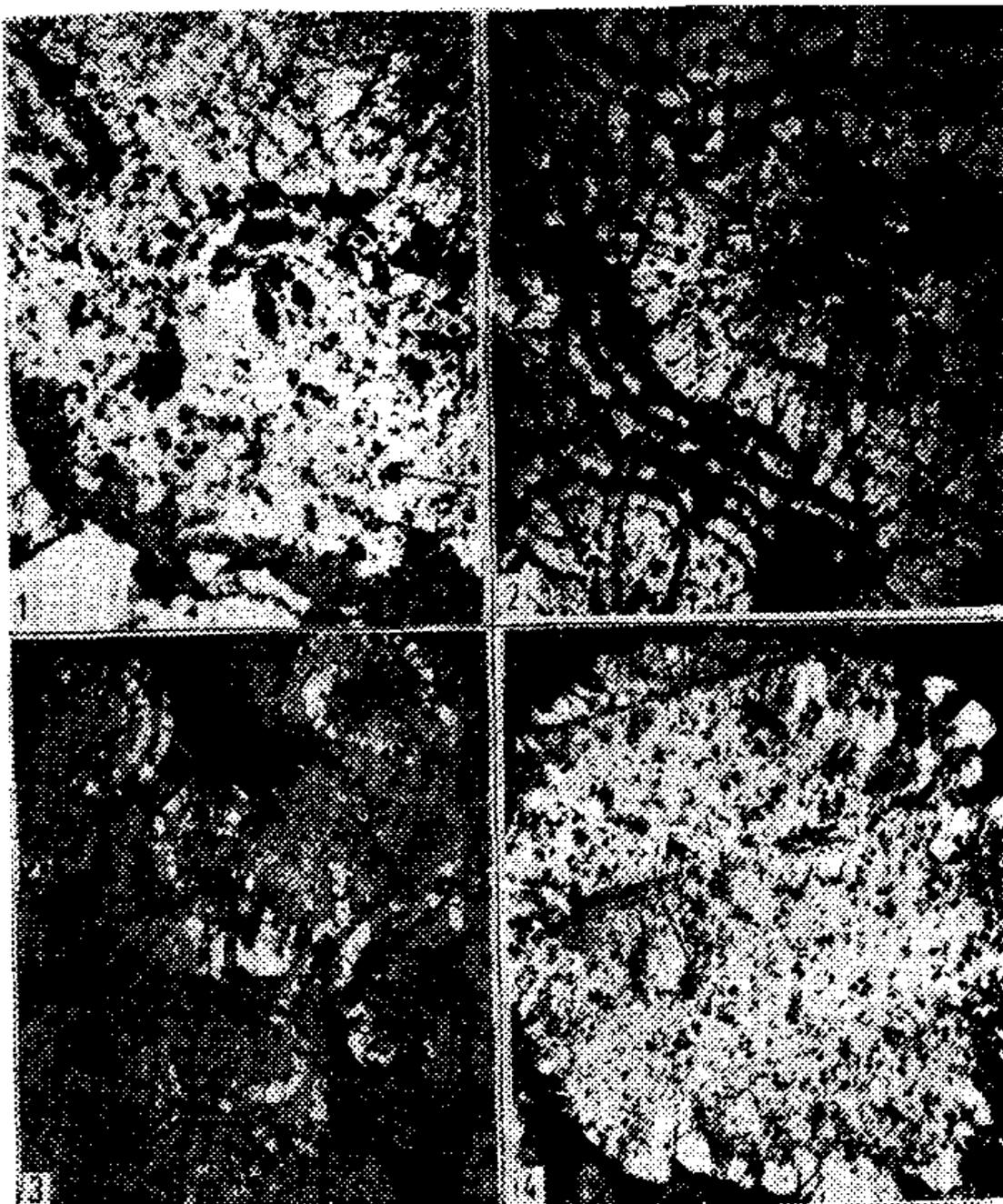


Рис. 44. Колломорфные (метаколлоидные) структуры и микротекстуры: 1 – метаколлоидная. Раскристаллизовавшаяся почка пирита среди зернистого агрегата пирит-халькопиритового состава. Ув. 90, Р. Алтай; 2– радиально-лучистая, концентрически-зональная. Пирит радиально-лучистый (белое), по зонам и трещинам усыхания которого развивается халькопирит (темно-серое), черное – пустотки. Ув. 90, Р. Алтай; 3 – почковидная. Пирит (белое) по зонам замещается халькопиритом (серое). Ув. 60, Р. Алтай; 4 – почковидная. Замещение колломорфнопочковидного агрегата пирита (рельефные реликтовые зерна) халькопиритом. Ув. 150, Р. Алтай,



Рис. 45. Структуры дробления и смятия: 1—катакластическая. Зерно пирита (белое) раздроблено и обломки сцементированы халькопиритом (точки), штрихи — сфалерит. Рисунок аншлифа, ув. 60, Р. Алтай; 2— порфирокатакластическая. Обломки пирита разной величины сцементированы халькопиритом. Рисунок аншлифа, ув. 60, Р. Алтай; 3, 4 — цементная. Кварц (серое) сцементирован борнитом и малахитом (белое). Ув. 90, Р. Алтай

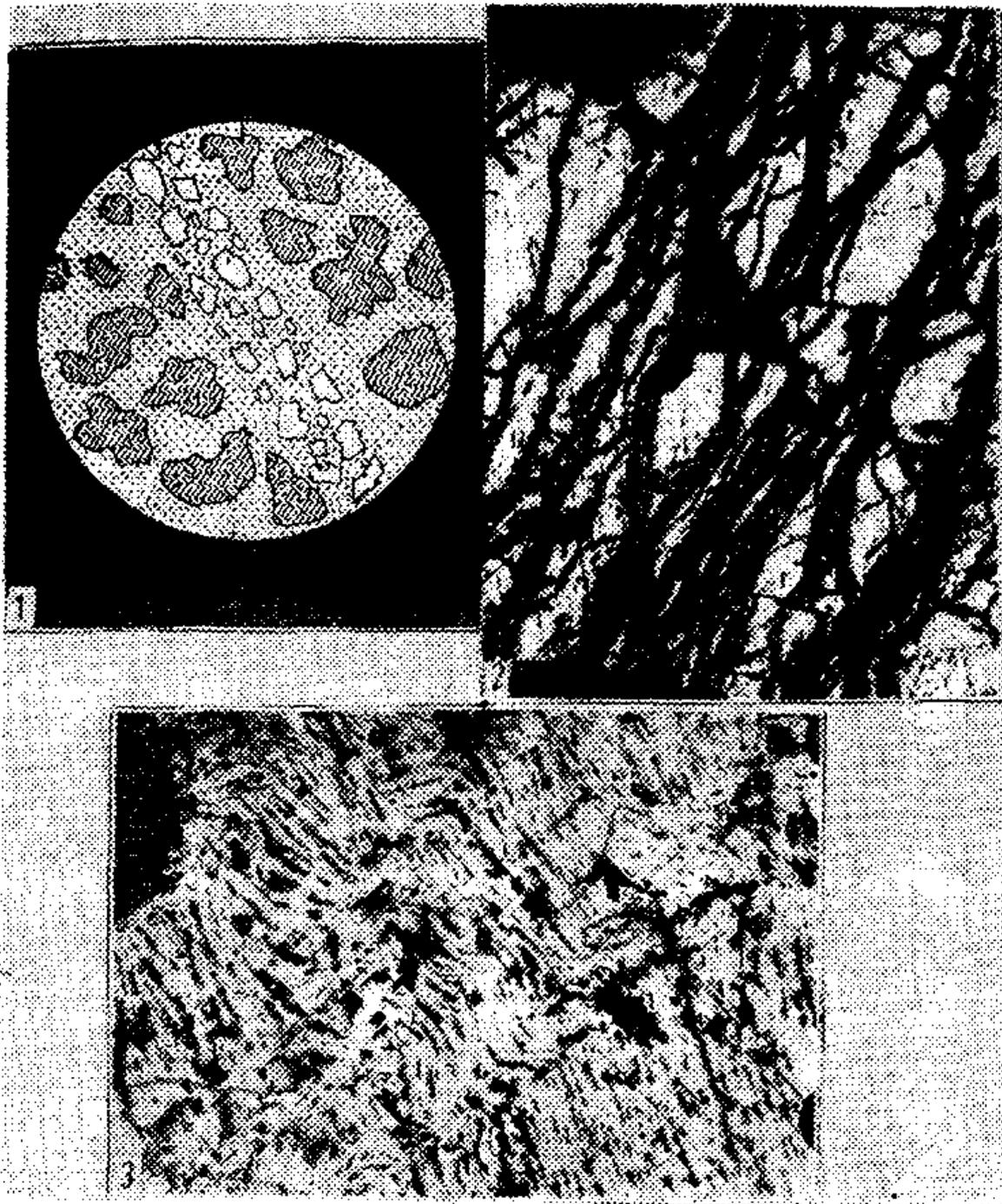


Рис. 46. Структуры дробления и смятия: 1—ориентированно-кластическая. Белое — пирит, точки — халькопирит, штрих — сфалерит. Рисунок аншлифа, ув. 60, Р. Алтай; 2 — ориентированно-кластическая и прожилково-цементная. Обломки пирита (белое), по прожилкам—халькопирит. Ув. 90, Р. Алтай; 3 — смятия. Галенит с изогнутыми трещинами спайности. Черные треугольники — выколки по спайности. Ув. 60, Р. Алтай

## ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическая информационно-диагностическая система для минералов (справочное пособие). М.: Недра, 1986, 139 с.
2. Атлас структур и текстур руд / С.И. Талдыкин, Н.Ф. Гончарик, Г.Н. Еникеева, Л.В. Розина. М.: Госгеолтехиздат, 1954, 60с.
3. Атлас пород и руд Норильских медно-никелевых месторождений / Д.А. Додин, Б.Н. Батуев, Г.А. Митенков, В.И. Изоитко. М.: Недра, 1971. 560 с.
4. Атлас текстур и структур сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова / Г.И. Горбунов, Ю.Н. Яковлев, Ю.А. Астафьев, Ю.В. Гончаров, И.С. Бартене, Ю.Н. Нерадовский. М.: Наука, 1973. 178 с.
5. Афанасьева Е.Л., Исаенко М.П., Технологическая минераграфия. М.: Недра, 1988. 221 с.
6. Безсмертная М.С., Чвилева Т.П. Определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1976. 71 с.
7. Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н. Текстуры и структуры руд. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 427 с.
8. Бетехтин А.Г., Генкин А.Д., Филимонова А.А., Шадлун Т.Н. Структурно-текстурные особенности эндогенных руд. М.: Недра. 583 с.
9. Бетехтин А.Г. Классификация структур и текстур руд // Изв.АН СССР. Сер. геол. 1934. №9. С. 20–36.
10. Вахромеев С.А. Руководство по минераграфии. Иркутск: Иркутск. кн. изд-во , 1956. 258с.
11. Вейц Б.И., Покровская И.В., Болгов Г.П. Минералы Рудного Алтая, т.1. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1957. 332 с.
12. Волынский И.С. Определение рудных минералов под микроскопом. М.: Недра, 1966. 337 с.
13. Вяльсов Л.Н. Оптические методы диагностики рудных минералов. М. : Недра, 1976. 194 с.
14. Галопен Р., Генри Н. Исследование непрозрачных минералов под микроскопом. М.: Мир, 1975. 348 с.
15. Грабовский М.А., Жерденко О.Н. Исследование рудных минералов методом магнитной порошкографии // Геология рудных месторождений. 1963. №1. С. 99–104
16. Григорьев Д.П. Онтогения минералов. Львов: Изд-во Львовск. ун-та, 1961. 264 с.
17. Диагностика и диагностические свойства минералов / Под редакцией В.Г. Фекличева. М.: Наука, 1981. 248 с.
18. Ингерсон Э. Методы и проблемы геологической термометрии // Проблемы рудных месторождений. М.: Изд-во иностр. литер., 1958. С. 309–368
19. Исаенко М.П. Определитель текстур и структур руд. М.: Недра, 1983. 260 с.
20. Исаенко М.П., Боришанская С.С, Афанасьева Е.Л. Определитель главнейших руд в отраженном свете. М.: Недра, 1986. 353 с.
21. Калугин А.С. Атлас текстур и структур вулканогенно-осадочных железных руд Алтая. М.: Недра, 1970. 176 с.
22. Крейг Д., Воган Д. Рудная микроскопия и рудная петрография. М.: Мир, 1984. 424с.
23. Кэмерон Ю.Н. Рудная микроскопия. М.: Изд-во Мир, 1966. 262 с.
24. Лебедева С.И. Микротвердость минералов. М.: Недра, 1977. 118 с.
25. Летувнинкас А.И. Стадийность постмагматического минералообразования. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1977. 99 с.
26. Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости / М.С. Безсмертная, Т.Н. Чвилева, Л.С. Агроскин и др. М.: Недра, 1973. 222 с.
27. Пшеничный Г.Н. Текстуры и структуры руд месторождений колчеданной формации Ю.Урала. М.: Наука, 1984. 206 с.
28. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностр. литер., 1962. 1132с.
29. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете / Т.Н. Чвилева, М.С. Безсмертная, Э.М. Спиридонов и др. М.: Недра, 1988. 504 с.
30. Сульфидные медно-никелевые руды Норильских месторождений / А.Д. Генкин, В.В. Дистлер, А.А. Филимонова и др. М.: Наука, 1981. 234 с.
31. Чвилева Т.Н., Клейбок В.Е., Безсмертная М.С.. Цвет рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1977. 136 с.

32. Чернышева Л.В., Смелянская Г.А., Зайцева Г.М. Типоморфизм магнетита и его использование при поисках и оценке рудных месторождений. М.: Недра, 1981. 198 с.
33. Шахов Ф.Н. Главнейшие рудообразующие минералы. Томск: Зап.-Сиб. геол. управл., 1942. 126 с.
34. Шахов Ф.Н. Текстуры руд. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 178 с.
35. Шорт Н. Микроскопическое определение рудных минералов. ОНТИ, 1934. 197 с.
36. Эстерле О.В. Автоматизация диагностики минералов. М.: (ОНТИ, ВИЭМС), 1975. 16 с.
37. Юшкин Н.П. Топоминералогия. М.: Недра, 1982. 283 с.
38. Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд. М.: Недра, 1984. 368 с.