

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**



**М.В. Рузіна, Д.В. Яцина, І.В. Жильцова**

**РУДНА МІКРОСКОПІЯ З ОСНОВАМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ  
МІНЕРАГРАФІЇ**

Навчальний посібник

Дніпропетровськ  
НГУ  
2012

УДК 553.086 (075.8)  
ББК 26.31я73  
Р 82

*Рекомендовано вченою радою Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» як навчальний посібник (протокол № 6 від 27.06.12 р.)*

Рецензенти:

*В.Д. Свєтєхов*, д-р геол.-мін. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної та прикладної мінералогії Державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет»

*В.А. Нєстєровський*, д-р геол. наук, професор кафедри нафти та газу Державного вищого навчального закладу «Київський національний університет»

*В.А. Баранов*, д-р геол. наук, с.н.с, завідувач лабораторією дослідження структурних перетворень гірських порід Інституту геотехнічної механіки НАН України.

**Рузіна, М.В.**

**Р 82** Рудна мікроскопія з основами технологічної мінераграфії [Текст]: навч. посібник / М.В. Рузіна, Д.В. Яцина, І.В. Жильцова. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 229 с.

Представлено опис методів мікроскопічних досліджень руд у відбитому світлі. Розглянута методика проведення текстурно-структурного та парагенетичного аналізу. Наведені діагностичні властивості основних рудоутворюючих мінералів. Показано роль мінераграфічних досліджень в процесі збагачення корисних копалин. Праця являє собою перший вітчизняний посібник з лабораторних методів вивчення руд у відбитому світлі.

Призначено для фахівців в галузі вивчення речовинного складу руд, для геологів, які займаються геологознімальними, пошуковими дослідженнями, і студентів геологічних спеціальностей.

УДК 553.086(075.8)  
ББК 26.31я73

© Рузіна М.В., Яцина Д.В.,  
І.В. Жильцова, 2012  
© Державний ВНЗ «Національний  
гірничий університет», 2012

## ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕДМОВА	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. УСТАТКУВАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ МІНЕРАГРАФІЇ. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПОРЯДОК НАЛАШТУВАННЯ ТА ПРИНЦИПИ РОБОТИ РУДНОГО МІКРОСКОПА	10
1.1. Поляризаційний мікроскоп. Будова, порядок роботи	11
1.1.1. Робочий рудний поляризаційний мікроскоп «Полам Р-312»	12
1.1.1.1. Оптична схема мікроскопа	13
1.1.1.2. Пристрій і робота складових частин мікроскопа.	15
1.1.1.3. Порядок роботи та налаштування мікроскопа	22
1.1.2. Інші види поляризаційних мікроскопів	26
1.2. Мікроскопи стереоскопічні панкратичні	29
1.2.1. Оптична схема мікроскопа	30
1.2.2. Опис конструкції	30
1.2.3. Порядок роботи	32
1.2.4. Мікроскоп стереоскопічний панкратичний Carl Zeiss «SteREO Discovery. V12»	33
РОЗДІЛ 2. ВИДИ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ МІКРОСКОПІЧНОГО ВИВЧЕННЯ ТА МЕТОДИКА ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ	34
2.1. Препарати для мікроскопічних досліджень	35
2.2. Методика виготовлення мікропрепаратів	38
2.2.1. Виготовлення прозорих і прозоро-полірованих шліфів	38
2.2.2. Виготовлення аншліфів (полірованих шліфів)	50
2.2.3. Виготовлення аншліфів-брикетів	53
2.2.4. Виготовлення порошкових препаратів (імерсійних препаратів)	55
2.2.4.1. Препарат без закріплення зерен	55
2.2.4.2. Препарат із закріпленими зернами	56
2.2.4.3. Перетворення петрографічного шліфа в імерсійний препарат	57
2.2.5. Виготовлення нестандартних мікропрепаратів	58
РОЗДІЛ 3. ОПТИКА ВІДБИТОГО СВІТЛА	61
3.1. Загальні відомості	62
3.2. Взаємодія світла із прозорим середовищем	64
3.3. Взаємодія світла з непрозорим середовищем	68
3.3.1. Відбиття лінійно поляризованого світла	68
3.3.1.1. Монохроматичне лінійно поляризоване світло, відбите від ізотропної поверхні	68

3.3.1.2.	Монохроматичне лінійно поляризоване світло, відбите від анізотропної поверхні	69
3.3.1.3.	«Біле» лінійно поляризоване світло, відбите від ізотропної поверхні	73
3.3.1.4.	«Біле» лінійно поляризоване світло, відбите від анізотропної поверхні	73
3.3.2.	Відбиття при схрещених ніколях	73
3.3.2.1.	Монохроматичне лінійно поляризоване світло	73
3.3.2.2.	«Біле» лінійно поляризоване світло	77
3.3.3.	Збіжне світло	78
РОЗДІЛ 4.	ДІАГНОСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РУДНИХ МІНЕРАЛІВ	83
4.1.	Відбивна здатність рудних мінералів	84
4.1.1.	Кількісні визначення відбивної здатності мінералів у відбитому світлі	86
4.1.1.1.	Методи виміру відбиття	87
4.1.1.2.	Обладнання для фотометричних вимірів.	90
4.1.1.3.	Проведення вимірів за допомогою фотоелектричної апаратури	92
4.2.	Колір рудних мінералів	95
4.3.	Двовідбиття та плеохроїзм відбиття рудних мінералів	98
4.4.	Анізотропія рудних мінералів	99
4.5.	Внутрішні рефлекси	104
4.6.	Твердість рудних мінералів. Якісний і кількісний методи визначення мікротвердості	106
4.6.1.	Якісний метод визначення мікротвердості	107
4.6.2.	Кількісний метод визначення мікротвердості (метод вдавлювання)	108
4.6.2.1.	Устаткування для вимірювання мікротвердості.	109
4.6.2.2.	Визначення величини мікротвердості	113
4.6.2.3.	Інші види мікротвердомірів	116
4.7.	Магнітність рудних мінералів і методи її визначення	117
4.8.	Структурні та морфологічні властивості рудних мінералів	118
4.8.1.	Форма й габітус кристалів	118
4.8.2.	Спайність та окремість	122
4.8.3.	Двійникування	122
4.8.4.	Включення та зрощення	124
4.8.5.	Зональність рудних мінералів	124
4.9.	Мікрохімічні методи досліджень рудних мінералів	126
РОЗДІЛ 5.	ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНИЙ ТА ПАРАГЕНЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РУД	131
5.1.	Структури кристалізації	133
5.2.	Структури заміщення (корозійні)	137
5.3.	Структури метасоматичного заміщення	142
5.4.	Структури дроблення (катакlastичні)	146
5.5.	Структури розпаду твердого розчину	148

5.6.	Структури перекристалізації руд	152
5.7.	Текстури руд	154
5.8.	Парагенетичний аналіз руд	155
5.9.	Послідовність виділення мінералів і мінеральних асоціацій	157
РОЗДІЛ 6.	ТЕХНОЛОГІЧНА МИНЕРАГРАФІЯ	160
6.1.	Вплив текстурно-структурних особливостей руд на процес збагачення	161
6.2.	Діагностика мінералів при збагаченні	168
6.3.	Визначення розмірів мінеральних зерен у руді, вимір площ і кількості мінералів у препараті	171
6.3.1.	Підрахунок кількості мінералів у мікроскопічних препаратах	174
РОЗДІЛ 7.	КОРОТКИЙ ОПИС МІНЕРАЛІВ	176
	ЛІТЕРАТУРА	220
	ПОКАЖЧИК МІНЕРАЛІВ	224

## ПЕРЕДМОВА

Даний навчальний посібник являє собою першу вітчизняну працю з рудної мікроскопії, що містить основи технологічної мінераграфії для студентів і аспірантів геологічних спеціальностей вузів. Книга може бути використана при технологічному оцінюванні якості руди з метою розробки оптимальних схем збагачення корисних копалин. Зміст посібника відповідає програмі дисципліни «Лабораторні методи вивчення корисних копалин», що прийнято у Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет». Окремі розділи книги можуть бути рекомендовані при вивченні курсів «Технологічна мінералогія» та «Збагачення корисних копалин».

Під час підготовки посібника було використано досвід підручників, апробованих протягом багатьох років у навчальних закладах країн СНД, авторами яких були провідні вчені в галузі досліджень складу руд – С.А. Вахромєєв, С.А. Юшко, М.П. Ісаєнко, А.Г. Бетехтін, а також матеріали монографій класиків мінераграфічних досліджень – П. Рамдора, Ю. Кемерона та багатьох інших.

Текстова частина містить інформацію з методики мікроскопічного вивчення руд. В основі визначення рудних мінералів – діагностика за фізичними властивостями (відбивна здатність, колір, внутрішні рефлекси, анізотропія, твердість). Значна увага надана вивченню текстурно-структурних особливостей руд, парагенетичному аналізу. Особливий розділ присвячено обґрунтуванню ролі мінераграфічних досліджень при технологічній оцінці якості руд.

У навчальному посібнику наведено перелік основного устаткування лабораторії мінераграфії, яке складається з одиниць техніки, спроектованих і виготовлених на рубежі ХХ – ХХІ століть, розглянуто порядок настроювання та принцип роботи.

У спеціальному розділі на відміну від багатьох попередніх видань аналогічних навчальних посібників запропоновано детальний огляд препаратів для мінераграфічних досліджень і методика їх виготовлення з урахуванням новітніх технологій останніх років.

Розділи 1, 6 написані сумісно М.В. Рузіною, Д.В. Яциною та І.В. Жильцовою; розділи 4, 5 – М.В. Рузіною; розділи 2, 3 – Д.В. Яциною; розділ 7 – І.В. Жильцовою.

Зауваження та відгуки відносно навчального посібника просимо відсилати за адресою:

49005, м. Дніпропетровськ, пр. Карла Маркса, 19, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». Всі зауваження щодо вдосконалення змісту та структури книги будуть із вдячністю прийняті авторами.

## ВСТУП

**Рудна мікроскопія** або **мінераграфія** (*minera* – руда, *grapho* – пишу) – це метод мікроскопічного вивчення полірованих взірців рудних або інших непрозорих мінералів у відбитому світлі. За допомогою цього методу може бути встановлено мінералогічний склад руди, визначені текстурно-структурні особливості та розроблені рекомендації з технологічної оцінки корисної копалини. Технологічна мінераграфія являє собою розділ рудної мікроскопії, що вивчає властивості руд відносно процесу їхнього збагачення.

Дослідження мінералів у відбитому світлі як і раніше залишаються найбільш часто застосовуваним і легко доступним методом вивчення руд. Крім низької собівартості, мінераграфія володіє рядом особливостей, що визначають її актуальність. При рішенні більшості завдань, пов'язаних з вивченням речовинного складу руд, мінераграфія застосовується як метод, що передує іншим, більш високотехнологічним дослідженням.

При цьому слід зазначити, що з розвитком електронної мікроскопії, рентгеноспектрального мікроаналізу, традиційні мікрохімічні методи при мінераграфічних дослідженнях не є настільки актуальними, як колись, але традиційні оптичні прийоми діагностики рудних мінералів збереглися в повному обсязі.

Мінераграфія тісно пов'язана з різними галузями вивчення складу руд, зокрема з мінералогією та із вченням про корисні копалини. Мінераграфічний метод дозволяє досліджувати особливості будови мікроскопічних зерен мінералів, які недоступні при макроскопічному спостереженні. При мінераграфічному вивченні можливо дослідження дрібних включень і закономірних мікрозрощень, що дозволяє вносити відповідні виправлення при розрахунках формул мінералів за результатами хімічного аналізу.

Слід особливо зазначити роль мінераграфії в процесі вивчення рудних родовищ. Метод рудної мікроскопії дозволяє визначати речовинний склад руд і виявляти закономірності його зміни в різних зонах рудних тіл. Дослідження структурних особливостей руд дозволяє визначити стадійність мінералоутворення. У підсумку, мінераграфічні дослідження, поряд з петрографічними та загально геологічними, дозволяють установити генетичний тип родовища, оцінити його перспективність і вибрати найбільш ефективні методи ведення геологорозвідувальних робіт.

Мінераграфія має винятково важливе значення при вивченні перспектив збагачуваності руд і виборі схем їхньої технологічної переробки. При розробці оптимальної схеми збагачення корисної копалини необхідно знати якісний і кількісний мінералогічний склад, форму, розміри мінеральних зерен і характер їхніх зрощень як у вихідних рудах і концентратах, так і у проміжних продуктах збагачення. Ці дані дозволяють визначити оптимальну крупність дроблення і в цілому дозволяють контролювати хід процесу збагачення корисної копалини.

Мікроскопічні дослідження у відбитому світлі також застосовуються при дослідженні речовинного складу викопного вугілля.

Вперше дослідження полірованої поверхні руди (піротину) були зроблені Берцеліусем у 1814 р.; мікроскоп при цих дослідженнях не застосовувався.

Мікроскопічний метод досліджень металів уперше був використаний у 1831 р. у м. Златоусті гірським інженером П. Аносовим, який розкрив таємницю будови «булата», що дозволило згодом налагодити виробництво високоякісних вітчизняних клинків.

У 1863 р. Сорбі був опублікований звіт про мікроскопічне дослідження полірованої поверхні заліза, і офіційно саме ця дата визнана початком науки металографії.

У 1885 році Баумхауер уперше зробив мікроскопічне вивчення у відбитому світлі ряду мінералів.

У 1900 р. металург В. Кембель досліджував за допомогою металографічного мікроскопа ряд мінералів і в 1906 р. опублікував статтю, у якій обґрунтував необхідність методу мікроскопічного дослідження у відбитому світлі для геологів і мінералогів.

У 1916 році був випущений перший мінераграфічний визначник Мердоча; у 1920 р. опубліковано другий визначник англійською мовою Деві та Фарнґама (Dawy W. and Farnham C. «Microscopic examination to ore minerals», 1920).

У 1928 році академіком І.Ф. Григор'євим була вперше у світі розроблена морфологічна класифікація структур мінеральних зрощень у рудах на основі детального вивчення 11000 зразків руд з різних поліметалічних родовищ Алтаю.

У 1931 р. П. Рамдором випущений підручник з мікроскопії руд, том II, який є повним довідником і визначником рудних і непрозорих мінералів (Schneiderhohn H. und Ramdohr P. «Lehrbuch der Erzmikroskopie». Erster und zweiter Bands. Berlin, 1931, 1934). Як додаток до цієї книги випущені таблиці для мікроскопічного визначення рудних мінералів.

У 1933 р. була опублікована книга А.Г. Бетехтіна та Л.В. Радугіної «Определение рудных минералов под микроскопом». У ній презентована методика визначення мінералів і два визначники мінералів: «малий» – для навчальних цілей та «великий» – для дослідницької роботи. Згодом, А.Г. Бетехтіним із співавторами опублікована фундаментальна робота «Структурно-текстурные особенности эндогенных руд» (1964).

У 1934 р. побачила світ праця С.А. Юшко «Методы изучения руд в отраженном свете», що містить коротку методичну частину, опис структур руд та основи кількісного мінералогічного аналізу. Даний навчальний посібник згодом неодноразово доповнювався та перероблявся з урахуванням нових даних та у 1984 році був презентований як робота «Методы лабораторного исследования руд». У ній розглянуто методи діагностики рудних мінералів, методи фазового мікрохімічного аналізу, методи визначення неоднорідності магнітних і слабомагнітних мінералів, текстурно-структурний аналіз руд і наведено визначальні таблиці для діагностики рудних мінералів.

У 1937 – 1950 рр. А.Г. Бетехтін розробив генетичну класифікацію рудних текстур і структур, а також склав зведену характеристику структурного травлення мінералів і розробив методику визначення мінералів марганцю.



У 1938 – 1941 рр. С.А. Юшко в ряді статей презентувала методику мікрохімічного аналізу. У 1947 – 1956 рр. перевидані підручники з мікроскопічного вивчення руд – С.А. Юшко (1949), І.С. Волинського (1949 – 1950).

У 1951 році С.А. Юшко розроблена методика фазового аналізу руд, проведеного за допомогою відбитків. Даний метод особливо важливий при вивченні окислених руд корисних копалин.

У 1956 році С.А. Вахромеєвим опубліковано «Пособие по минераграфии», у якому охарактеризовані основні діагностичні ознаки визначення рудних мінералів, складені таблиці для визначення найважливіших рудних і супутніх мінералів, а також значна увага приділена вивченню текстур і структур руд.

У 1962 році опублікована фундаментальна робота П. Рамдора «Рудные минералы и их сростания» російською мовою, що не втратила актуальності і нині. Книга містить опис 300 рудних мінералів, а також 637 мікрофотографій, що характеризують типи зрощень, внутрішню будову та форму рудоутворюючих мінералів.

Слід особливо зазначити ряд праць, присвячених обґрунтуванню ролі мінераграфічних досліджень при збагаченні корисних копалин. Найбільш відомими в цій області є роботи Ю.Н. Кемерона «Рудная микроскопия» (1966), Г. Фрейнда «Прикладная микроскопия» (1966).

У 1961 році професор Фрайберзької академії О.В. Ельснер опублікував роботу, у якій охарактеризовані парагенетичні мінеральні асоціації ендегенних, екзогенних і метаморфогенних руд з родовищ різних країн світу. У даній книзі у вигляді атласу представлені 493 мікрофотографії характерних зрощень між мінералами найголовніших парагенетичних мінеральних асоціацій у рудах, показана внутрішня будова зерен, ознаки заміщення та динамометаморфізму.

Значний внесок у розвиток мінераграфічних досліджень внесли праці М.П. Ісаєнко зі співавторами – «Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете» (1978), «Определитель текстур и структур руд» (1983). У цих навчальних посібниках презентовані класифікації текстур і структур руд, охарактеризовані основи парагенетичного аналізу руд, а також наведено обґрунтування впливу текстур і структур руд на процес їхнього збагачення.

З 90-х років минулого сторіччя в мінераграфії почали активно застосовувати цифрові технології, що привело до одержання інформації принципово нового рівня. В наш час велика кількість мінераграфічних комплексів випускається із можливостями цифрового аналізу зображень.

## **РОЗДІЛ 1. УСТАТКУВАННЯ ЛАБОРАТОРІЇ МІНЕРАГРАФІЇ. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА, ПОРЯДОК НАЛАШТУВАННЯ ТА ПРИНЦИПИ РОБОТИ РУДНОГО МІКРОСКОПА**

### **НАВЧАЛЬНІ ЦІЛІ ПЕРШОГО РОЗДІЛУ – ВИВЧЕННЯ НАСТУПНОГО МАТЕРІАЛУ:**

1. Якісні та кількісні методи визначення фізичних констант рудних мінералів.
2. Лабораторне обладнання для визначення фізичних властивостей мінералів.
3. Пристрій, призначення та робота складових частин мікроскопа «ПОЛАМ Р-312»
4. Будова та порядок налаштування рудного поляризаційного мікроскопа.
5. Галузь застосування, конструкція та порядок налаштування стереоскопічних панкратичних мікроскопів.
6. Оптичні схеми мікроскопічного обладнання лабораторій мінераграфії.

### **НА ОСНОВІ НАБУТИХ ЗНАНЬ ЧИТАЧ ПОВИНЕН ВМІТИ:**

1. Охарактеризувати якісні та кількісні методи діагностики рудних мінералів.
2. Знати принцип роботи приладів, за допомогою яких проводиться визначення оптичних констант рудних мінералів.
3. Пояснювати оптичні схеми рудних поляризаційних та панкратичних стереоскопічних мікроскопів.
4. Охарактеризувати призначення складових частин мікроскопів ПОЛАМ Р-312, Альтами ПОЛАР 312.
5. Вміти охарактеризувати підготовчі операції перед початком роботи з мікроскопом та ергономічні рекомендації.
6. Знати порядок установки об'єкта досліджень.
7. Знати порядок установки об'єктивів та окулярів мікроскопа.
8. Вміти виконувати центрування об'єктивів мікроскопів.
9. Знати порядок дій при установці поляризатора та аналізатора в робоче положення.
10. Знати основні принципи налаштування системи мікроскопа при дослідженнях методами прямого освітлення та при застосуванні минаючого світла.

Основою діагностики мінералів у минаючому і відбитому світлі є методи *якісного визначення* фізичних властивостей і *кількісного виміру* фізичних констант.

За допомогою *якісних методів* визначаються відносний показник заломлення, двозаломлення, відносна інтенсивність відбиття мінералів, їхній колір, плеохроїзм, відносна твердість, морфологічна характеристика, внутрішні рефлекси, характер заміщення та зміни, магнітні властивості, електропровідність та інші.

*Кількісний вимір* зводиться до визначення точних величин, найчастіше це відбиття (коефіцієнт відбиття, величина двозаломлення, показник анізотропії), визначення ступеня анізотропії у відбитому світлі й мікротвердість.

Перший набір властивостей, що діагностуються, може визначатися за допомогою поляризаційних і металографічних мікроскопів, біноклярів (стереоскопічних мікроскопів), мікровізорів. Константи, які визначаються кількісними методами, одержують при вивченні мінералів за допомогою спеціальних комплектуючих до поляризаційних мікроскопів, за допомогою окремих приладів або устаткування (фотометри, спектрофотометри, мікротвердометри).

Вивченню зазначеними методами піддаються спеціальні мікропрепарати, виготовлені з мінералів, гірських порід, що досліджуються. Особливості методик виготовлення та види препаратів для мікроскопічного вивчення будуть описані у розділі 2.

Слід також зазначити, що запропонований нижче перелік основного устаткування лабораторії мінераграфії складається з одиниць техніки, спроектованих і виготовлених на рубежі ХХ – ХХІ століть. З кожним роком методики діагностики властивостей мінералів удосконалюються, а з ними вдосконалюється устаткування та вимірювальна техніка. Простежити за новинками часто неможливо, до того ж на сучасному ринку лабораторного устаткування існує широкий спектр різноманітних товарів. Однак пристрій устаткування та принципи роботи з ним залишаються незмінними.

### **1.1. Поляризаційний мікроскоп. Будова, порядок роботи**

Явище поляризації світла було відкрито ще до того, як сформувалися сучасні уявлення про світлові промені, як електромагнітні хвилі. На самому початку ХVІІІ століття Ісаак Ньютон уже ввів подібне поняття в оптику того часу, але тільки в другій половині ХІХ століття відомий англійський фізик Максвелл зумів пояснити його у своїй електромагнітній теорії світла. Але, як не дивно, це явище на практиці було використано в мікроскопії на кілька років раніше. Ще в першій половині ХІХ століття Вільям Ніколь виготовив перший в історії оптичний поляризатор – *призму Ніколя*, або просто – «*ніколь*». Саме так, з маленької букви, і називається ця принципова деталь поляризаційного мікроскопа, що застосовувалась спочатку в основному в мінералогії та геології.

Сутність ідеї полягає в тім, що світло, як електромагнітна хвиля, має два вектори, спрямовані перпендикулярно світловому променю – магнітний та

електричний. При проходженні через деякі прозорі середовища світло, на перший погляд, не змінює звичних властивостей, але змінюється площина розташування електричного і магнітного векторів. Таким чином, якщо світло, яке надходить в об'єктив, пройде через перший поляризатор («ніколь»), а світло, що надходить в окуляр, через другий поляризатор, то при збігу площин поляризації світло пройде через мікроскоп практично повністю. Якщо ж тепер повертати один з поляризаторів навколо своєї осі, то при досягненні значення кута  $90^\circ$  між площинами поляризації світло повністю буде затримано і не пройде через систему.

Якщо ж тепер покласти на предметне скло мікроскопа який-небудь об'єкт, що володіє властивостями поляризації (в основному, це всілякі кристалічні матеріали), то через мікроскоп пройде тільки світло, площина поляризації якого змінена в досліджуваній речовині.

Поляризаційний мікроскоп уперше був використаний для всебічного вивчення мінералів. Але поступово з'ясувалося, що поляризаційними властивостями володіють різноманітні речовини. Саме тому поляризаційний мікроскоп використовується для дослідження широкого кола тих властивостей і явищ, які звичайно недоступні для звичайного оптичного мікроскопа.

Останні півтора століття відбувався розвиток і вдосконалення поляризаційних мікроскопів, що привело до дійсної широкої розмаїтості моделей. Пристрій та принцип роботи поляризаційного мікроскопа залишається незмінним. Тому в даному розділі складові частини, механізм дії поляризаційного мікроскопа, порядок налаштування та роботи з ним будуть розглянуті на прикладі мікроскопа «Полам Р-312» (рис. 1.1) виробництва ВАТ «ЛОМО», м. Санкт-Петербург.

**1.1.1. Робочий рудний поляризаційний мікроскоп «Полам Р-312»** призначений для досліджень непрозорих об'єктів у відбитому світлі, звичайному і поляризованому, а також прозорих об'єктів у минаючому світлі при малих збільшеннях.

Мікроскоп призначений для повсякденних лабораторних робіт, а також для навчальних цілей. Пристрій мікроскопа «Полам Р-312» і порядок роботи з ним викладені відповідно до інструкції [1].

*Галузі застосування:*

- мінералогія та петрографія,
- вуглепетрографія,
- металогія
- інші галузі науки і техніки.

*Методи досліджень:*

- світле поле при нормально падаючому і косому освітленні
- минаюче світло,
- поляризоване світло,
- кількісна оцінка обертальних властивостей мінералів,
- мікрофотографування.

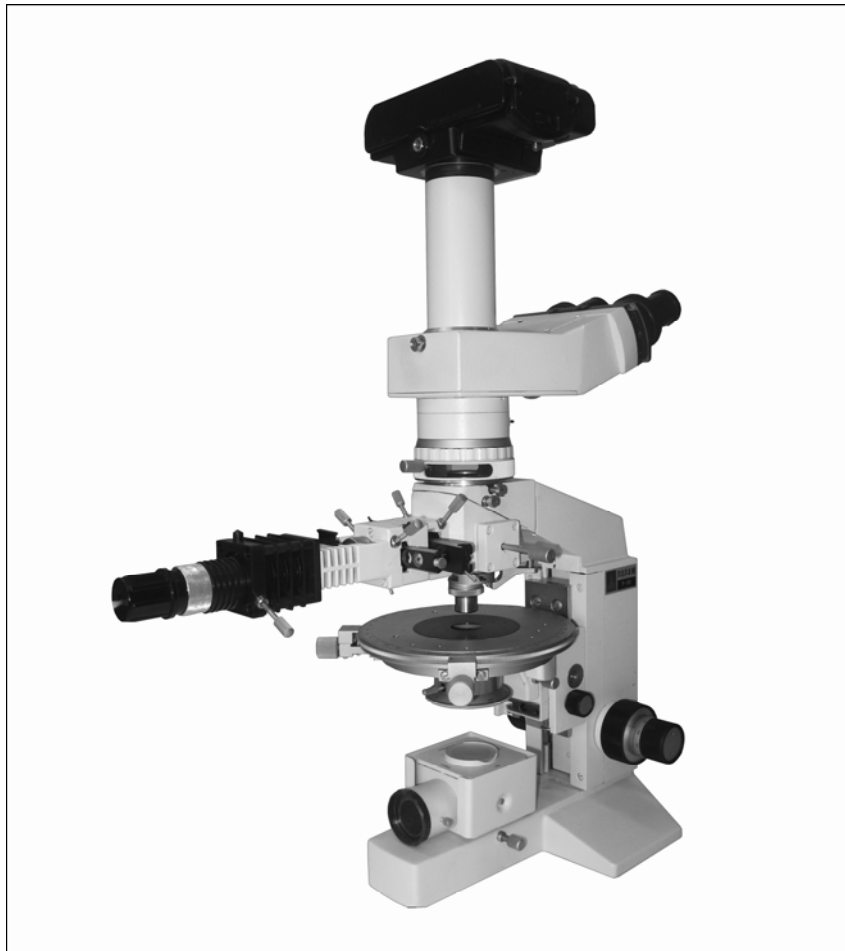


Рис. 1.1. Загальний вигляд поляризаційного мікроскопа «Полам Р-312»

**1.1.1.1. Оптична схема мікроскопа** (рис. 1.2) складається з основних систем – освітлювальної та спостережної.

Освітлювальна система забезпечує нормальне освітлення об'єкта зверху через об'єктив за допомогою освітлювача *11* відбитого світла.

Спостережна система призначається для спостереження об'єкта, що досліджується, при різних збільшеннях, а також для спостереження вихідної зіниці об'єктивів, що необхідно при застосуванні спеціальних методів мікроскопічного дослідження.

Спостережна система мікроскопа «Полам Р-312» складається зі змінних об'єктивів *31*, проміжного тубуса *26* із системою тубусних лінз і лінз Бертрана та тринокулярної насадки *3*.

При роботі з мікроскопом світло лампи *12* проектується колектором *13* у площину ірисової апертурної діафрагми *17*, що лінзами *18* та *20*, відбивною пластиною *21* або відбивною призмою *30* проектується в площину вихідної зіниці об'єктива *31*.

Ірисова польова діафрагма *19* проектується лінзою *20*, відбивною пластиною *21* або відбивною призмою *30*, об'єктивом *31* у площину об'єкта *32*, що досліджується.

Промені світла, зустрічаючи на своєму шляху відбивну пластину *21*, частково проходять крізь неї та поглинаються внутрішньою поверхнею корпусу освітлювача. Інша частина променів через об'єктив *31* направляється на об'єкт *32*,

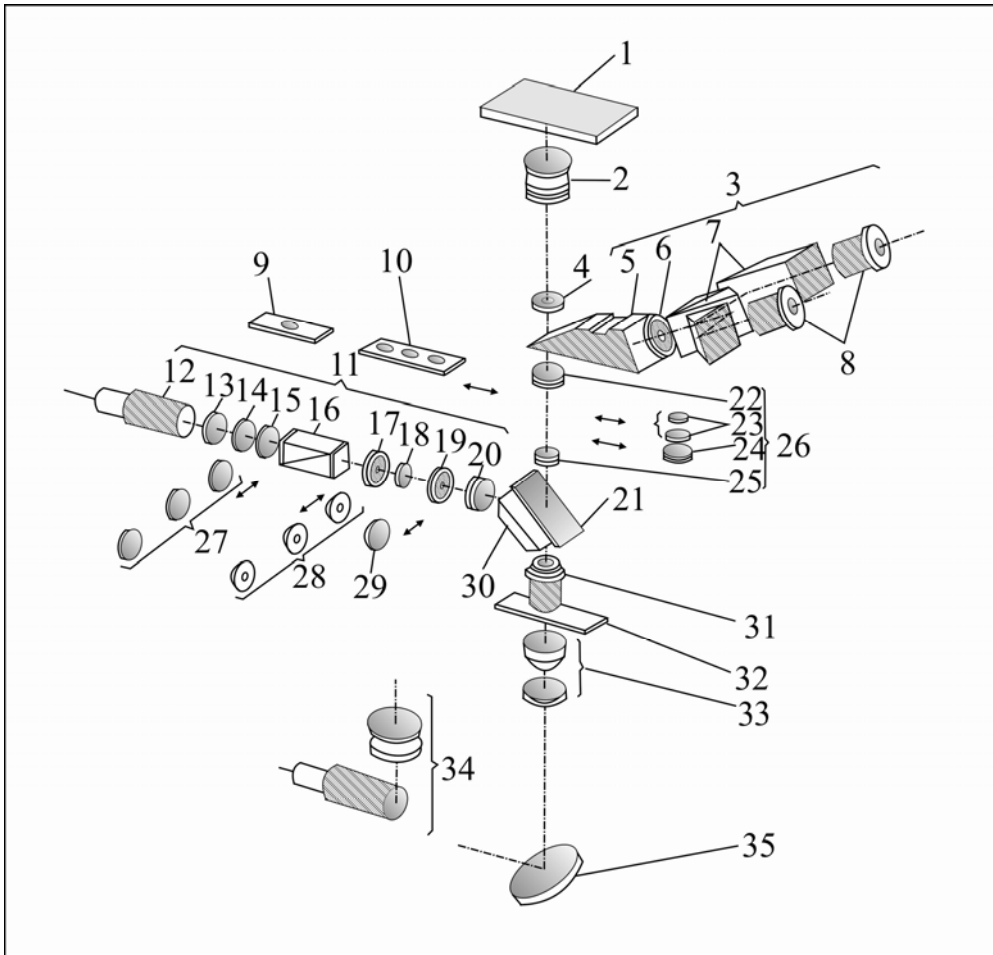


Рис. 1.2. Оптична схема мікроскопа «Полам Р-312»

відбиваючись від нього, проходить знову через об'єктив 31 і, зустрічаючи знову на своєму шляху відбивну пластину 21, частково відхиляється убік від джерела світла; але більша частина цих променів проходить через пластину і далі, пройшовши оптичні елементи тубуса 26, збирається в передній фокальній площині окулярів 8 і створює дійсне зворотне та збільшене зображення об'єкта.

При роботі з відбивною призмою 30 промені світла, відбиваючись від гіпотенузної грані призми, проходять через одну половину отвору об'єктива 31, попадають на об'єкт 32, відбиваються від нього і проходять через іншу половину отвору об'єктива, минаючи призму, у тубус, створюючи у фокальній площині окулярів зображення поверхні об'єкта, що досліджується.

При цьому загальне збільшення  $\Gamma$  мікроскопа визначається за формулою:

$$\tilde{A} = \beta_{\text{іа}} \cdot \beta_{\text{іє}} \cdot \beta_{\text{дóа.є.}}$$

де  $\beta_{\text{іа}}$  – збільшення об'єктива;  $\beta_{\text{іє}}$  – збільшення окуляра;  $\beta_{\text{дóа.є.}}$  – збільшення тубусних лінз, яке має значення 1,2.

Для спостереження об'єктів у поляризованому світлі в хід променів вводяться призма-поляризатор 16 і поляфільтр-аналізатор 24.

При спостереженні вихідної зіниці об'єктива в паралельний хід променів між тубусними лінзами 25 та 22 проміжного тубуса 26 включається система, яка

складається з лінз Бертрана 23, що разом із системою тубусних лінз створює зображення вихідної зіниці об'єктива у фокальній площині окулярів 8.

Між тубусними лінзами 25 та 22 у хід променів можуть бути введені кварцова пластинка 9 першого порядку й інтерференційні світлофільтри 10.

В освітлювальну систему можуть бути введені по черзі матове скло 15 або світлофільтр 27.

У площину апертурної діафрагми 17 можуть бути встановлені по черзі кільцеві діафрагми 28 по Штаху, а в площину польової діафрагми – пластина Накамури 29.

Теплофільтр 14 використовується в освітлювальній системі для зменшення впливу теплових променів на призму-поляризатор.

Призма 5 тринокулярної насадки 3 відхиляє пучок від горизонталі на  $20^\circ$ . Призмений блок 7 розділяє пучок і забезпечує можливість бінокулярного спостереження об'єкта.

Ірисова діафрагма 6 служить для обмеження розміру зображення зерна мінералів при дослідженні у коноскопичному ході променів.

Гомал 2 при фотографуванні передає зображення об'єкта в площину робочої матриці фотоапарата 1 (призма 5 при цьому виключена).

При фотографуванні в коноскопичному ході променів може бути введена крапкова діафрагма 4.

При роботі в минаючому світлі освітлення об'єкта здійснюється за допомогою конденсатора 33 з апертурою  $A = 0,3$  від освітлювального дзеркала 35 або за допомогою спрощеного освітлювача 34.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Назвіть основні якісні та кількісні методи діагностики мінералів.
2. За допомогою яких приладів проводяться кількісні виміри основних фізичних констант мінералів?
3. Галузь застосування та методи дослідження для рудного поляризаційного мікроскопа.
4. Опишіть узагальнено оптичну схему мікроскопа «Полам Р-312».
5. Як проводиться розрахунок загального збільшення для мікроскопа «Полам Р-312»?

**1.1.1.2. Пристрій і робота складових частин мікроскопа.** Основними агрегатними вузлами мікроскопа «Полам Р-312» є штатив 3 (див. рис. 1.3), освітлювач 4 відбитого світла (ОПОС-1), спрощений освітлювач 7 (ОИ-37), предметний столик 5 із кронштейном, проміжний тубус 2, тринокулярна насадка 1, конденсор 6.

**Штатив** мікроскопа показаний на рис. 1.4. На підставці 21 штатива закріплено тубусотримач 13, у якому змонтований механізм фокусування, що переміщає предметний столик 5 (див. рис. 1.3). Грубе переміщення напрямної 16 (див. рис. 1.4), механізму фокусування і кронштейна предметного столика 17 здійснюється рукоятками 18, точне – рукоятками 19.

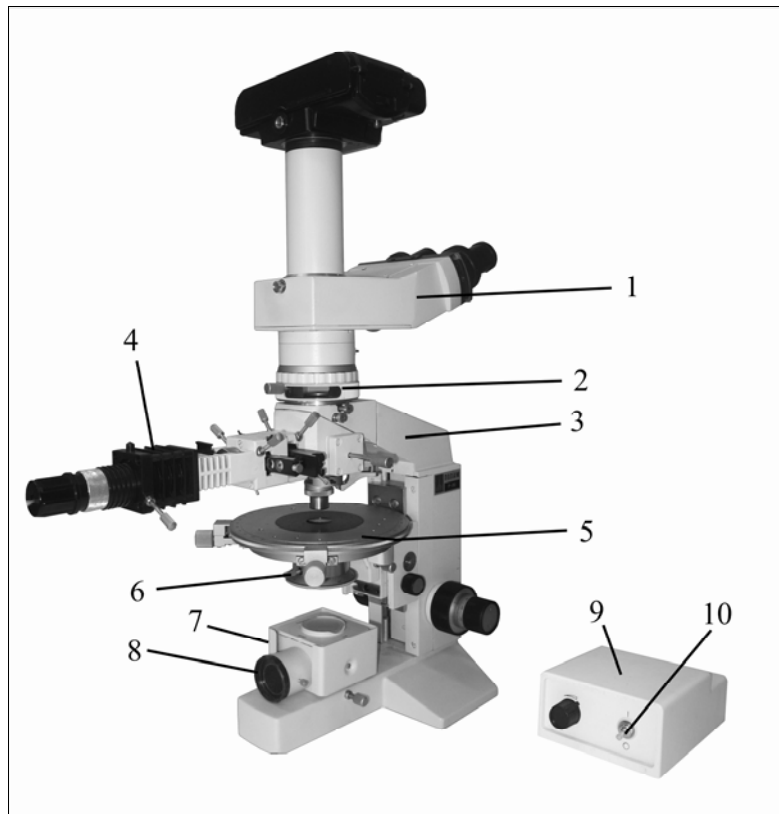


Рис. 1.3. Мікроскоп «Полам Р-312». Загальний вигляд

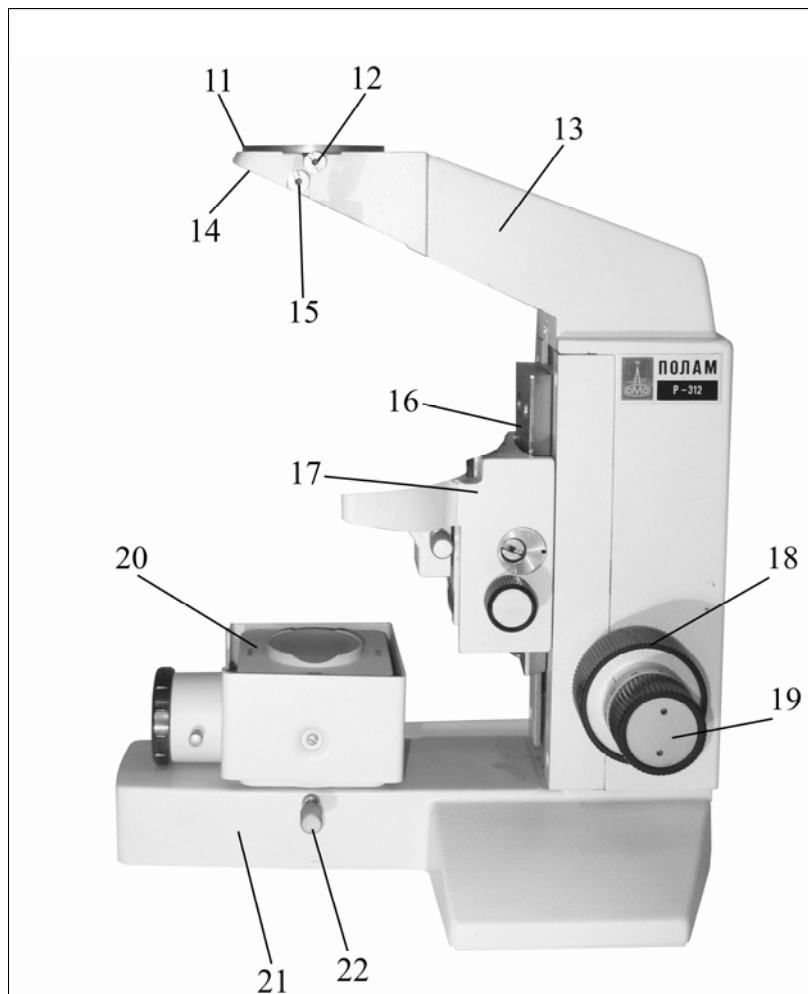


Рис. 1.4. Штатив мікроскопа «Полам Р-312»



Рукоятки розташовані на одній осі та виведені обабіч корпуса механізму. За один оберт рукоятки грубого фокусування напрямна переміщається на 3,2 мм, за один оберт рукоятки мікрометричного фокусування – на 0,2 мм, загальна величина мікрометричного фокусування не менш 2,5 мм. Одна з рукояток 19 має шкалу із ціною поділки 0,002 мм.

У верхній частині штатива розташовані гнізда 11 та 14 для установки тубуса та освітлювача ОПОС-1. У підставці штатива є отвір, у який встановлюється або спрощений освітлювач 20 минаючого світла, або освітлювальне дзеркало, що закріплюють гвинтом 22 (див. рис. 1.4).

**Предметний столик 42** (рис. 1.5) оснащений обертовим диском. Диск має по окружності 360 поділок, ціна поділки –  $1^\circ$ . Два ноніуси 24, що закріплені на нерухомій частині столика, дають можливість робити відлік кутів столика з точністю  $6'$ . За допомогою гвинта 23 диск столика може бути застопорено.

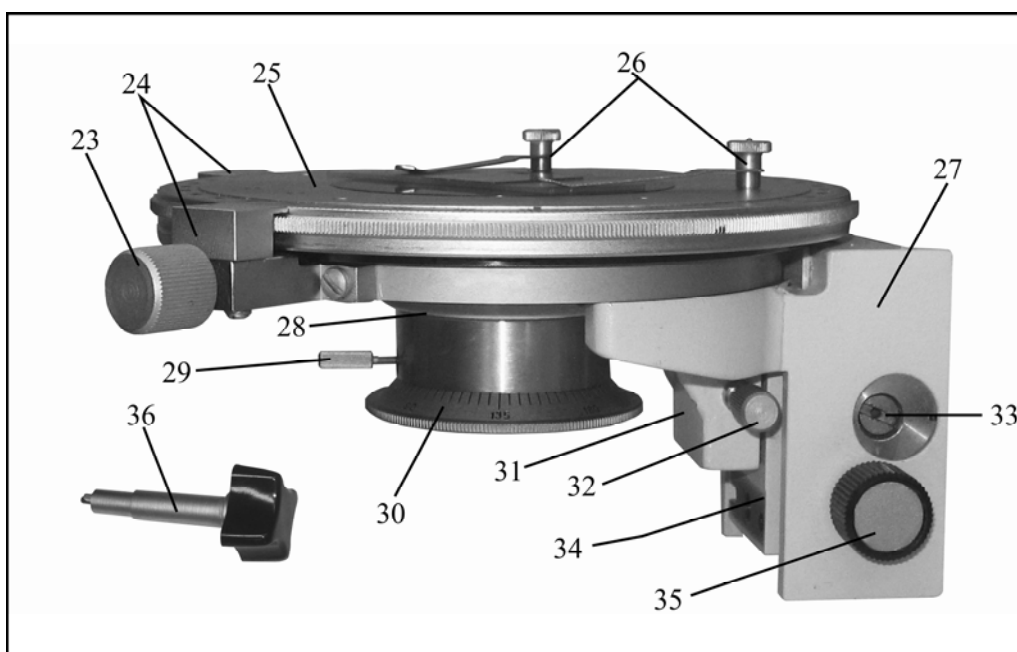


Рис. 1.5. Предметний столик мікроскопа «Полам Р-312»

Диск столика має отвори для установки пружинних клем і препараторушія. Гвинт 23 служить для включення пристрою, що забезпечує фіксацію диска столика через кожні  $45^\circ$  з будь-якого встановленого положення.

Кронштейн 27, на якому закріплений предметний столик, встановлюється на напрямну 16 (див. рис. 1.4).

Торцевий ключ 36 (див. рис. 1.5) служить для кріплення кронштейна предметного столика гвинтом 33 до напрямного штатива мікроскопа.

Кронштейн предметного столика має напрямну 34, що служить для установки конденсора та переміщається за допомогою рукоятки 35.

**Освітлювальні пристрої.** Освітлювач відбитого світла ОПОС-1 складається з корпуса 41 (рис. 1.6), теплового радіатора 45, держака 37, патрона з лампою і розеткою. У верхній частині корпуса 41 розташований фланець 43, за допомогою якого освітлювач встановлюється в посадкове гніздо штатива і

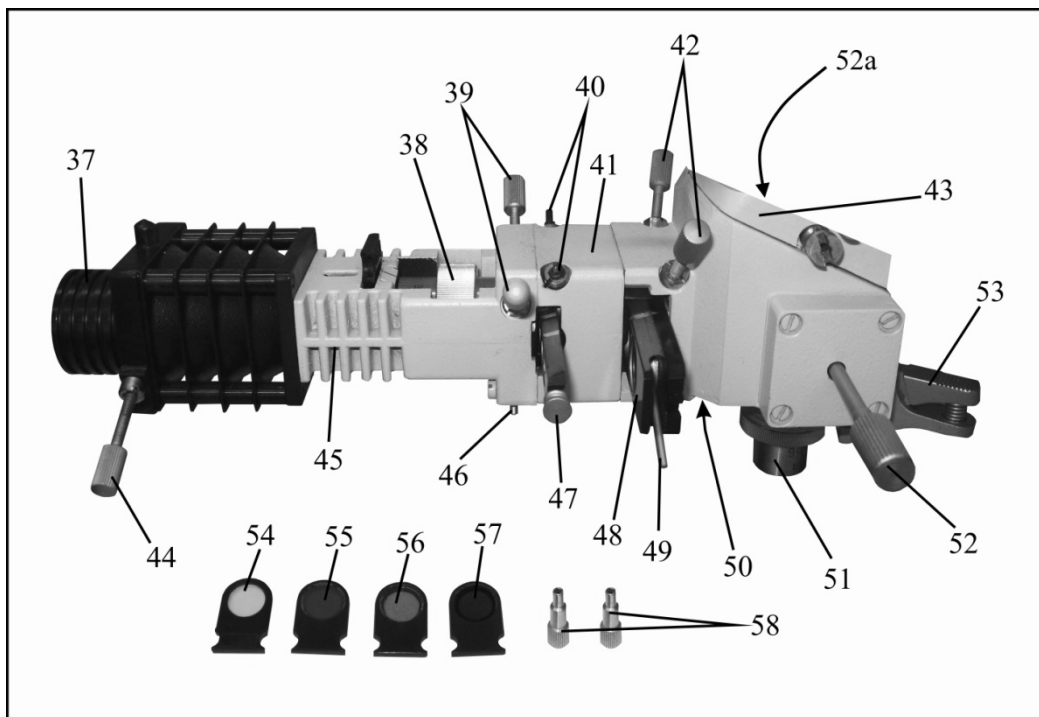


Рис. 1.6. Освітлювач ОПОС-1

закріплюється у ньому гвинтом *15* (див. рис. 1.4). Рукояткою *46* (див. рис. 1.6) регулюється розкриття апертурної діафрагми *17* (див. рис. 1.2). Гвинти *39* (див. рис. 1.6) служать для центрування апертурної діафрагми.

За допомогою механізму *48* у хід променів освітлювача вводиться (або виводиться) польова діафрагма *19* (див. рис. 1.2). Рукояткою *49* (див. рис. 1.6) регулюється розкриття польової діафрагми. При виведенні польової діафрагми в хід променів освітлювача можуть бути введені або крапкові діафрагми, призначені для зменшення розсіяного світла при фотометричних роботах, або пластина Накамури, призначена для точної установки на згасання досліджуваного об'єкта.

Гвинти *42* служать для центрування польової діафрагми, пластин Накамури або крапкових діафрагм відносно оптичної осі освітлювача. Знизу корпусу *41* є кільце *50* з накаткою, обертанням якої здійснюється фокусування на різке зображення польової діафрагми при роботі з відбивною пластиною *21* (див. рис. 1.2) або з відбивною призмою *30*.

За допомогою полозка *47* (див. рис. 1.6) у хід променів освітлювача можуть бути введені кільцеві діафрагми. Центрування кільцевих діафрагм здійснюється гвинтами *40* за допомогою ключів *58* для центрування об'єтивів.

За допомогою рукояток *52* та *52a* вводяться в хід променів освітлювача або виводяться з нього відбивна пластина *21* (рис. 1.2) і відбивна призма *30*. Коли всунута рукоятка *52a* (див. рис. 1.6) і висунута рукоятка *52*, включається відбивна призма, якщо всунута рукоятка *52* і висунута рукоятка *52a*, включається відбивна пластина, коли рукоятки *52a* та *52* висунуті, вимикаються одночасно відбивна пластина й відбивна призма.

У нижній частині корпусу *41* установлено щипцевий пристрій *53* для кріплення об'єтивів.

Для роботи у поляризованому світлі в паз корпусу 41 зверху вставляється поляризатор в оправі 38 таким чином, щоб поділка «0» шкали кутів повороту, нанесеної на оправі поляризатора, збіглася з індексом на корпусі. Обертання поляризатора в оправі 38 здійснюється за тороване кільце оправі вправо і вліво від положення «0» на кут  $90^\circ$ . Ціна поділки шкали  $9^\circ$ .

У корпус 41 зверху можуть бути встановлені або матове скло в оправі 54, або один із світлофільтрів в оправі: світлофільтр 57 – синій матований СС2, світлофільтр 56 – жовтий ОС12 або світлофільтр 55 – нейтральний НС2.

Патрон з лампою вставляється в держатель 37. Регулювання положення нитки лампи здійснюється поворотом держателя та хитанням його за допомогою центрувальних гвинтів 44.

Тепловий радіатор 45 призначається для зменшення нагрівання корпусу освітлювача. Освітлювач минаючого світла 34 (див. рис. 1.2) (ОИ-37) або дзеркало 35 можуть бути встановлені на підставу мікроскопа та закріплені гвинтом 22 (див. рис. 1.4).

Освітлювач відбитого світла і спрощений освітлювач минаючого світла ОИ-37 включаються в мережу змінного струму 127/220 В через блок живлення 9 (див. рис. 1.3). Конструкція спрощеного освітлювача минаючого світла ОИ-37 і блоку живлення наведена в технічних описах та інструкціях для експлуатації, прикладених до них.

**Тубус.** Проміжний тубус 2 (див. рис. 1.3) виконаний у вигляді знімного вузла, у якому розміщені аналізатор, тубусні лінзи та лінза Бертрана.

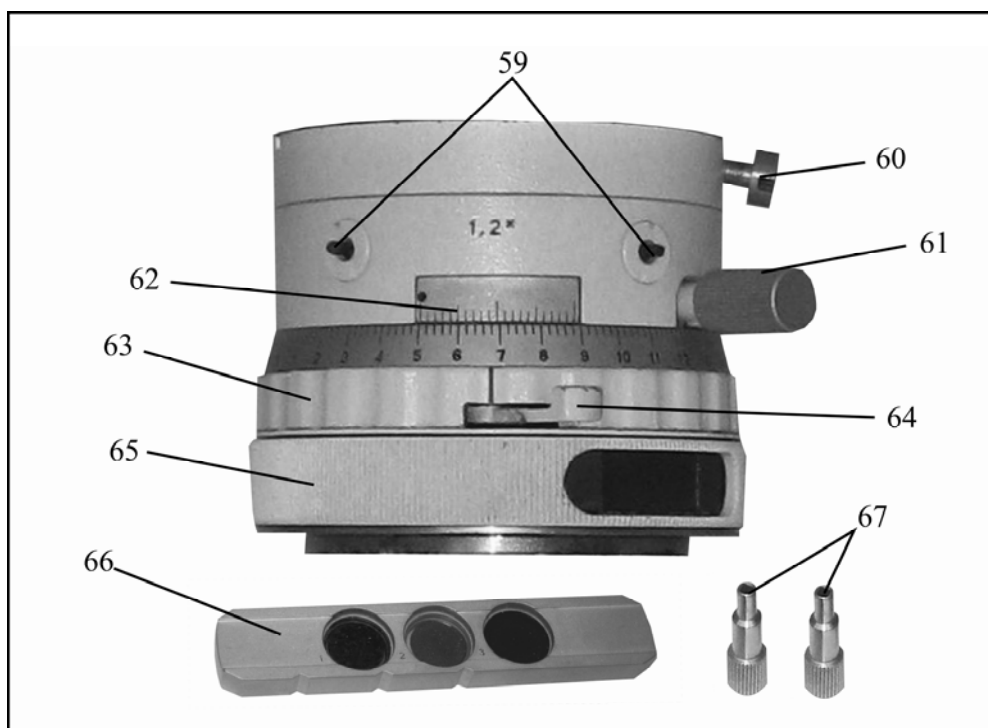


Рис. 1.7. Тубус мікроскопа «Полам Р-312»

Аналізатор можна повертати на  $180^\circ$  за допомогою кільця 63 (рис. 1.7) і фіксувати в будь-якому положенні за допомогою гальмівної рукоятки. Ноніус 62 дає можливість відрховувати кути повороту аналізатора з точністю до  $6'$ .

Аналізатор вводиться в хід променів і виводиться з нього рукояткою 64. Рукоятка 61 служить для включення та вимикання лінзи Бертрана, а також для її фокусування (переміщення по висоті). Центрування лінзи Бертрана здійснюється обертанням гвинтів 53 за допомогою ключів 67 для центрування об'єктивів.

У нижній частині проміжного тубуса є паз, розташований під кутом  $45^\circ$  до площини симетрії мікроскопа. Паз призначений для введення в хід променів полозка з інтерференційними світлофільтрами в оправі 66 або кварцової компенсаційної пластинки першого порядку.

Для запобігання попадання пилу в паз служить заслінка 65. Для закріплення тринокулярної насадки на корпусі проміжного тубуса є гвинт 60.

**Тринокулярна насадка.** Внутрішній діаметр окулярних трубок тринокулярної насадки 1 (див. рис. 1.3) 23,2 мм.

У насадці встановлена ірисова діафрагма для обмеження розмірів зображення зерна при роботі в коноскопичному ході променів. Світловий діаметр ірисової діафрагми змінюється при обертанні торованого кільця 74 (рис. 1.8). В одній з окулярних трубок тринокулярної насадки є два прорізи, розташовані під кутом  $45^\circ$ , які служать для фіксації окулярів з перехрестям, які оснащені хомутиками.

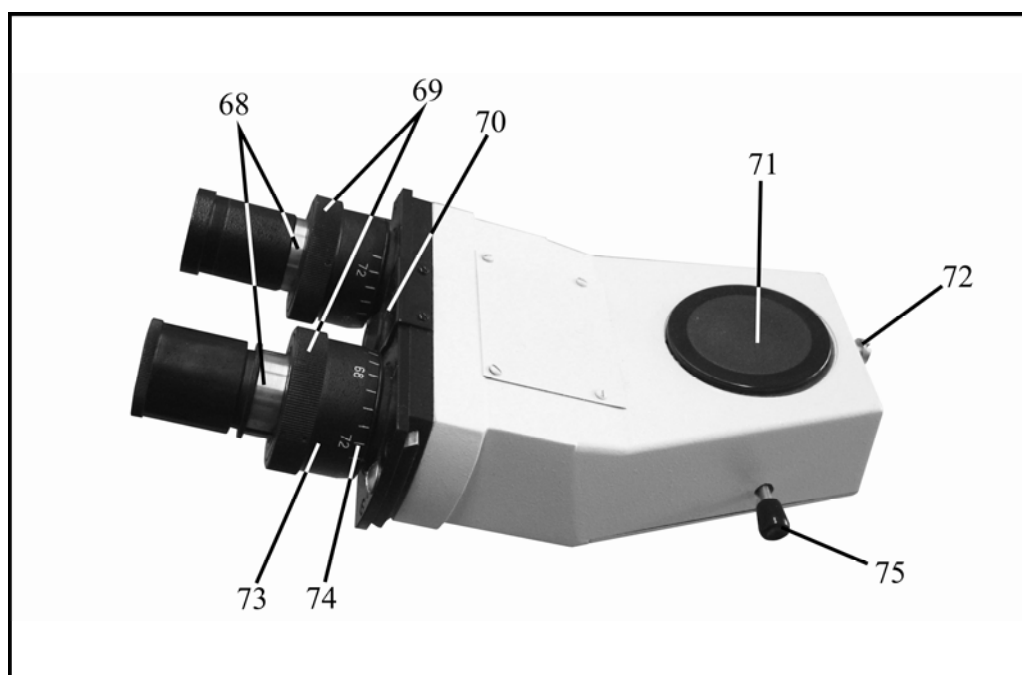


Рис. 1.8. Тринокулярна насадка

Установка відстані між осями окулярних трубок тринокулярної насадки відповідно до бази очей спостерігача здійснюється паралельним переміщенням трубок у межах від 56 до 72 мм із відліком по шкалі 70, розташованій на корпусі тринокулярної насадки. Для компенсації виникаючого при переміщенні окулярних трубок зміни довжини тубуса мікроскопа відлік, знятий зі шкали 105, встановлюється на шкалах 73, розташованих на окулярних трубках 68, шляхом обертання торованих кілець 69.

При фотографуванні об'єктів фототубус закріплюється на корпусі тринокулярної насадки гвинтом за допомогою торцевого ключа 35 (див. рис. 1.5).

Рукоятка 75 служить для виведення з ходу променів призмового блоку 7 (див. рис. 1.1) при переході від візуального спостереження до фотографування.

У фототубусі може бути встановлена крапкова діафрагма в оправі 71 (див. рис. 1.8), використовувана при фотографуванні об'єктів у коноскопичному ході променів. Для фіксації насадки в робочому положенні на нижньому торці її є гвинт, що при установці насадки на мікроскоп повинен увійти в паз на верхньому торці проміжного тубуса.

**Конденсор.** Конденсор з апертурою  $A = 0,3$  установлюється в кільці кронштейна 31 (рис. 1.5) і кріпиться гвинтом. Для правильної установки конденсора на його корпусі є установчий гвинт, що повинен увійти в паз 28, розташований на нижній стороні кільця.

Поляризатор в оправі 30 (див. рис. 1.5) можна повертати навколо його осі на  $360^\circ$  за тороване кільце оправы. Відлік кутів повороту поляризатора проводиться по його шкалі із ціною поділки  $5^\circ$ . Оправа з поляризатором може бути вийнята з корпусу вузла при віджатому гвинті 29.

**Об'єктиви.** Об'єктиви розраховані на довжину тубуса 190 мм без покривного скла. Оптичні деталі об'єктивів не мають натягів, що впливають на поляризацію світла. На корпусі кожного об'єктива зазначені його збільшення, апертура й довжина тубуса.

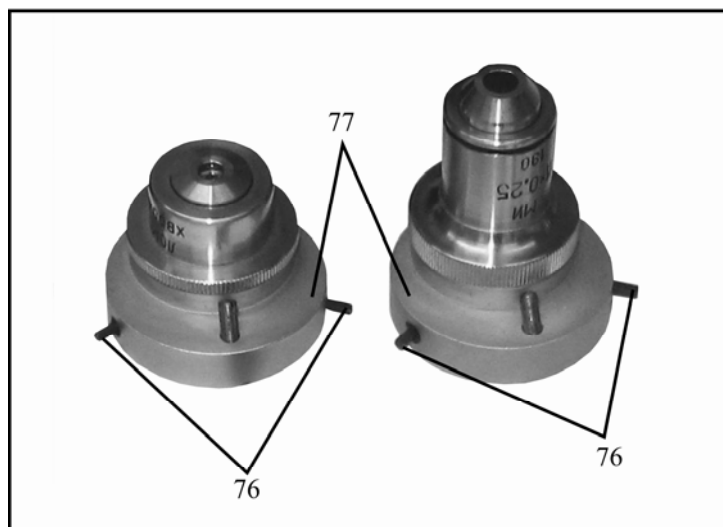


Рис. 1.9. Об'єктив в оправі

**Апертура об'єктива** – це діаметр світлового пучка на вході в об'єктив і повністю минаючого через його апертурну діафрагму.

Кожен об'єктив закріплений у центрувальну оправу 77 (рис. 1.9), оснащену гвинтами 76, що дозволяють за допомогою центрувальних ключів 58 (див. рис. 1.6) здійснювати центрування об'єктива щодо оптичної осі мікроскопа. За допомогою оправ об'єктиви встановлюються в щипцевий пристрій 53.

### Питання для самоконтролю:

1. Назвіть основні агрегатні вузли мікроскопа «Полам Р-312».
2. Назвіть агрегатні вузли штатива мікроскопа, для чого вони призначені.
3. Назвіть агрегатні вузли предметного столика мікроскопа.
4. За допомогою яких пристосувань здійснюється регулювання апертурної та польової діафрагм освітлювального пристрою? Укажіть їх на рис. 1.1.
5. Укажіть на рис. 1.1 положення поляризатора освітлювального пристрою
6. Укажіть на рис. 1.1 положення аналізатора проміжного тубуса.
7. За допомогою якої рукоятки проводиться включення та вимикання лінзи Бертрана?
8. Що таке апертура об'єктива?

**1.1.1.3. Порядок роботи та налаштування мікроскопа.** Перед роботою з мікроскопом необхідно зняти захисний чохол, установити мікроскоп і блок живлення в зручному для роботи положенні. Рекомендується підготувати робочий простір у такий спосіб. Ліворуч від мікроскопа на віддаленому краю стола помістити футляр з набором об'єктивів, окулярів, світлофільтрами, компенсаторами та іншим необхідним інструментом. Ближче до переднього краю розташувати колекцію препаратів, що досліджуються, ручний пресик і набір предметних стекол. Праворуч від мікроскопа зручно проводити реєстрацію спостережень та діагностики. Інші ергономічні особливості визначаються оператором, що працює з мікроскопом.

Далі перед початком роботи необхідно встановити об'єктив і окуляри необхідних збільшень.

*Для установки об'єктива необхідно:*

- опустити обертанням рукояток грубої подачі предметний столик;
- у праву руку взяти об'єктив у центрувальній оправі, стиснути лівою рукою пружину щипцевого пристрою і встановити центрувальну оправу на виступаючу конічну частину щипцевого пристрою, повернути його проти годинникової стрілки до упору та опустити пружину щипців;
- перевірити, чи увійшов штифт центрувальної оправы об'єктива в проріз важеля щипцевого пристрою, тому що тільки в цьому положенні об'єктив буде притиснутий важелем і надійно закріплений у щипцевому пристрої.

Установка окулярів проводиться в окулярні трубки тринокулярної насадки. Необхідно простежити при установці окуляра з перехрестям, оснащеного спеціальним хомутиком, за тим, щоб хомутик на корпусі окуляра увійшов у проріз окулярної трубки; у цьому випадку перехрестя розташовується паралельно напрямкам коливань світла, що пропускається поляризатором та аналізатором. Перед налаштуванням мікроскопа рекомендується встановлювати окуляри зі збільшенням  $10^X$ .

Для налаштування мікроскопа проводиться наступний ряд операцій: установка поляризатора та аналізатора в робоче положення, установка об'єкта (шліфа), що досліджується, настроювання висвітлення, центрування об'єктива, визначення ціни поділки шкали (або сітки) окуляра.

*Установка поляризатора та аналізатора в робоче положення.* При роботі з мікроскопом необхідно мати на увазі, що пристрої поляризації мікроскопа орієнтовані так, що установка шкали поляризатора на поділку «0» і включення аналізатора (або виключення та установка шкали аналізатора на поділку «9») відповідає схрещеному положенню поляризаційних пристроїв. При цьому напрямком коливань, що пропускаються поляризатором, буде збігатися з горизонтальною ниткою перехрестя окуляра, установленого в тубусі мікроскопа.

– спочатку необхідно включити освітлювач, ввести в хід променів відбивну пластину, всунувши рукоятку 52a (див. рис. 1.6) або призму, всунувши рукоятку 52;

– далі варто встановити на предметний столик мікроскопа полірований шліф ізотропного мінералу і сфокусувати на нього мікроскоп з об'єктивом 40<sup>X</sup>. Поєднати, обертаючи поляризатор за оправу, поділку «0» шкали на оправі поляризатора з індексом на корпусі теплового радіатора;

– включити в хід променів аналізатор за допомогою рукоятки 61 (див. рис. 7), при цьому риска на рукоятці аналізатора повинна збігтися з рискою на кільці 63 проміжного тубуса, що вказує на включене положення аналізатора, і встановити обертанням кільця 63 шкалу аналізатора на відлік «9», що відповідає схрещеному положенню його з поляризатором; закріпити гальмівною рукояткою.

– простежити при включеній лінзі Бертрана або без окуляра картину згасання у вигляді тонко обкресленого хреста з відбивною пластиною або у вигляді половини хреста з відбивною призмою;

– для установки пристроїв поляризації у паралельне положення треба шкалу аналізатора встановити на поділку «0» або «18», або розгорнути поляризатор на поділку «9».

*Установка об'єкта (шліфа).* Встановити шліф за допомогою пластиліну (або іншої пластичної маси) на металевій пластині або товстому предметному склі. Встановити шліф із пластиною під мінералогічний прес (рис. 15, розділ 1), натискаючи на шток преса, вдавити шліф у пластилін. При роботі в минаючому світлі, необхідно помістити шліф на робочий столик покривним стеклом нагору.

*Для центрування об'єктива необхідно:*

– помістити на предметний столик мікроскопа об'єкт, сфокусувати мікроскоп на різкість зображення;

– знайти в спостережуваному зображенні об'єкта яку-небудь помітну деталь малих розмірів (наприклад, темну крапку) і, рухаючи об'єкт по столику, привести її на центр перехрестя окуляра;

– простежити за рухом обраної крапки, обертаючи предметний столик мікроскопа. Якщо крапка не зміщається із центра перехрестя окуляра, то об'єктив варто вважати центрованим. Якщо ж ці умови не виконані, зробити центрування об'єктива;

– встановити обертанням столика деталь спостереження об'єкта в максимально віддалене положення від перехрестя окуляра;

– розділити навпіл (на око) відстань від центра перехрестя до зображення обраної деталі об'єкта і за допомогою центрувальних гвинтів об'єктива перемістити зображення деталі на половину цієї відстані убік перехрестя;

– встановити переміщенням об'єкта (від руки або за допомогою препараторушія) деталь спостереження об'єкта знову на центр перехрестя. Перевірити, чи залишається обрана деталь об'єкта на перехресті окуляра при обертанні предметного столика.

При необхідності всі операції, описані вище, повторити знову доти, поки крапка об'єкта, установа на центр перехрестя окуляра, не буде зміщатися при обертанні предметного столика мікроскопа. У цьому випадку центрування об'єктива можна вважати закінченим.

Для виключення люфту у різьбленні центрувальних гвинтів об'єктива рекомендується при остаточному центруванні об'єктива обертання обох центрувальних гвинтів робити в одну сторону (наприклад, за годинниковою стрілкою).

При зміні об'єктивів рекомендується перевіряти їх центрування зазначеним вище способом і при необхідності проводити їх центрування.

*Налаштування освітлення.* Якість зображення в мікроскопі в значній мірі залежить від освітлення, тому налаштування висвітлення є важливою підготовчою операцією. Освітлювач відбитого світла забезпечує освітлення об'єктів, що досліджуються, при спостереженні їх у світлому полі методами прямого освітлення з відбивною призмою Берека.

*Налаштування освітлення при методі прямого освітлення проводиться в такий спосіб:*

– встановити об'єкт на предметний столик мікроскопа;

– увімкнути освітлювач;

– увімкнути в хід променів відбивну пластину, всунувши рукоятку 52a (див. рис. 1.6).

– встановити в щипцевий пристрій освітлювача об'єктив середнього збільшення  $21^{\times}$ , в окулярну насадку мікроскопа – окуляр необхідного збільшення і сфокусувати мікроскоп на різке зображення поверхні об'єкта;

– перевірити центрування об'єктива та при необхідності відцентрувати його, як зазначено вище.

– виключити аналізатор мікроскопа з ходу променів;

– ввести польову діафрагму освітлювача в хід променів за допомогою механізму 48 і прикрити її на 1/3 поля зору поворотом рукоятки 49, необхідно отримати різке зображення польової діафрагми в полі зору окуляра шляхом обертання торованого кільця 50, відцентрувати зображення прикритої польової діафрагми щодо центра перехрестя окуляра обертанням гвинтів 40, відкрити польову діафрагму за полем зору окуляра поворотом рукоятки 49;

– простежити вихідну зіницю об'єктива, для чого ввести в хід променів мікроскопа лінзу Бертрана за допомогою рукоятки 61 (див. рис. 1.7) і сфокусувати її обертанням цієї рукоятки на різке зображення вихідної зіниці об'єктива; відцентрувати лінзу Бертрана відносно перехрестя окуляра за допомогою гвинтів 59 ключами 67;



– прикрити апертурну діафрагму на  $1/3$  зображення вихідної зіниці за допомогою рукоятки 4 (див. рис. 1.6), відцентрувати зображення прикритої апертурної діафрагми щодо зображення вихідної зіниці об'єктива обертанням гвинтів 39; відкрити апертурну діафрагму по зіниці поворотом рукоятки 46;

– домогтися різкого зображення волоска лампи у вихідній зіниці об'єктива та повного його заповнення обертанням патрона з лампою і центрувальних гвинтів 44 лампи.

При налаштуванні освітлення необхідно пам'ятати, що зміна розмірів польової діафрагми впливає тільки на величину, а не на яскравість освітленого поля; зміна розміру апертурної діафрагми впливає на яскравість освітлення і на контрастність зображення, а не на величину освітленого поля. Однак контрастність зображення залежить не тільки від розміру апертурної діафрагми, але значною мірою від об'єкта і його фарбування, крім того, вона може змінюватися шляхом застосування світлофільтрів, які входять у комплект освітлювача і можуть бути встановлені в паз корпусу освітлювача.

Не можна регулювати яскравість зображення звуженням апертурної діафрагми. Для зменшення яскравості зображення рекомендується ввести в хід променів матове скло або знизити яскравість лампи.

При переході від прямого освітлення до косого необхідно висунути рукоятку 52a і всунути рукоятку 52. Після цього перевірити налаштування освітлення.

При необхідності сфокусувати зображення польової діафрагми та відцентрувати зображення польової і апертурної діафрагм.

При косому освітленні при спостереженні площини вихідної зіниці об'єктива видна половина зіниці, що світиться, інша половина перекрита відбивною призмою. При цьому зображення прикритої апертурної діафрагми повинно бути в центрі світної половини зіниці.

Метод прямого освітлення з відбивною пластиною варто застосовувати головним чином при вивченні дуже тонких структур об'єктів із сильними збільшенням об'єктивами.

Метод косого освітлення з відбивною призмою підвищує яскравість і контрастність зображення об'єкта, що досліджується. Цей метод освітлення варто застосовувати при вивченні об'єктів, що складаються із близьких за відбивною здатністю компонентів (вугіль різних стадій вуглефікації або руд з мінералами слабкої відбивної здатності), з об'єктивами малих і середніх збільшень.

Точні дослідження в поляризованому світлі варто проводити із призмою Берека, тому що вона усуває еліптичну поляризацію, що має місце при роботі з відбивною пластиною з об'єктивами високих апертур.

*Для налаштування освітлення в минаючому світлі необхідно:*

- установити на центральну частину столика об'єкт;
- вивести з ходу променів аналізатор перемиканням рукоятки 64 (див. рис. 1.7);
- включити освітлювач;

– вивести з ходу променів відбивну пластину і призму за допомогою рукояток 52a (див. рис. 1.6) і 52.

– установити в щипцевий пристрій об'єktiv малого збільшення ( $4^X$ ,  $7^X$  або  $9^X$ ) і сфокусувати мікроскоп на об'єкт;

– перевірити центрування об'єктива і при необхідності відцентрувати його.

– підняти конденсор обертанням рукоятки 35 (див. рис. 1.5) до такого положення, при якому нитка джерела світла буде різко видна на об'єкті;

– розташувати зображення нитки лампи в центрі поля зору окуляра, рухаючи патрон з лампою вздовж осі і повертаючи його навколо осі; у цьому положенні патрон з лампою закріпити гвинтом;

– покласти для зменшення впливу структури нитки та отримання рівномірного освітлення об'єкта на фланець освітлювача матове скло з комплекту мікроскопа;

– перевірити налаштування освітлення, спостерігаючи вихідну зіницю об'єктива із крапковою діафрагмою або при включеній лінзі Бертрана; при правильному налаштуванні освітлення зіниця повинна бути повністю заповнена світлом.

Для використання механізму фіксації кутів повороту столика необхідно зробити попередню установку його в такий спосіб:

– при будь-якому положенні диска столика включити фіксуєчий механізм, закріпивши гвинт 23 до упору.

– обертати диск столика доти, поки він не стане в положення фіксації;

– виключити фіксуєчий механізм, відвернувши гвинт 23.

Така попередня установка предметного столика забезпечить при повторних включеннях фіксуєчого механізму фіксацію кутів повороту столика через  $45^\circ$  від будь-якого встановленого положення предметного столика.

Варто пам'ятати, що виключати фіксуєчий механізм необхідно тільки у фіксованому положенні предметного столика.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Опишіть підготовчі операції перед початком роботи з мікроскопом та ергономічні рекомендації.

2. Як проводиться установка об'єktivів та окулярів мікроскопа?

3. Укажіть порядок дій при установці поляризатора та аналізатора в робоче положення.

4. Як проводиться установка об'єкта досліджень?

5. Які дії проводять для центрування об'єктива?

6. Опишіть основні дії при налаштуванні освітлення у минаючому світлі.

7. Опишіть основні дії при налаштуванні освітлення у відбитому світлі.

8. Як проводиться установка предметного столика з фіксацією кутів повороту?

**1.1.2. Інші види поляризаційних мікроскопів.** У сучасній науці поляризаційний мікроскоп використовується не тільки для вивчення мінералів і

гірських порід, він характеризується всебічним використанням для вивчення будь-яких речовин, які мають властивість поляризації.

В даний час існує значне поширення поляризаційних мікроскопів різних моделей і підприємств-виробників. Принцип роботи сучасних поляризаційних мікроскопів залишається однаковим, однак такі мікроскопи є вже високоточними, багатофункціональними приладами, які являють собою суму вузлів мікроскопа, цифрових камер високого розрізнення і персонального комп'ютера зі спеціальним програмним забезпеченням.

Однією із сучасних моделей виробництва ВАТ «ЛОМО» є мікроскоп «Альтами ПОЛАР 312» (Рис. 1.11).



Рис. 1.11. Поляризаційний мікроскоп «Альтами ПОЛАР 312»

На відміну від старих моделей типу «Полам Р-312» має вбудований освітлювальний пристрій, що дозволяє проводити дослідження як у минаючому, так і у відбитому світлі простим перемиканням тумблера. Підсвічування виробляється галогенними лампами. Об'єктив револьверного типу дозволяє робити швидко зміну збільшувальної здатності мікроскопа. Зверху корпуса мікроскопа є спеціальний адаптер для цифрової камери, що приєднується до персонального комп'ютера. За допомогою спеціального програмного забезпечення є можливість редагувати одержуване зображення, записувати ефекти досліджуваних властивостей на відео.

Однією з самих останніх моделей є мікроскоп Carl Zeiss «Axio Lab A1 Pol» (рис. 1.12). Являє собою нову модифікацію із серії мікроскопів Axio Lab, призначену для роботи в поляризованому світлі. Насамперед, цей мікроскоп призначений для застосування в навчальному процесі та рутинних роботах у лабораторіях, що займаються петрографією, технічною петрографією, мінералогією і дослідницькими роботами.



Рис. 1.12. Мікроскоп Carl Zeiss «Axio Lab A1 Pol»

Особливістю мікроскопа є швидке перемикання між ортоскопією і коноскопією. Штатив для коноскопичних досліджень має вбудований деполаризатор, а також аналізатор, що обертається, і лінзу Бертрана, що фокусується. Це зручно з того погляду, що не потрібно шукати компоненти – вони всі вже вбудовані в штатив. Освітлення в минаючому світлі забезпечує галогенна лампа. Револьверний пристрій кріплення об'єктивів має 4 центральних гнізда для установки об'єктивів.

Бінокулярна насадка має відеовихід для камери. Дана модель має ергономічний і компактний дизайн мікроскопа, що дозволяє зберігати більше вільного місця на робочому столі.

Професійною моделлю є мікроскоп Carl Zeiss «Axio Imager Vario» (рис. 1.13). Являє собою мікроскоп нового покоління, стійкий до вібрацій, забезпечує точність у дослідженні зразків будь-якої площі з дуже високими оптичними характеристиками.

При роботі з таким мікроскопом є можливість досліджувати зразки висотою до 300 мм.



Рис. 1.13 Мікроскоп Carl Zeiss «Axio Imager Vario»

Оптична система мікроскопа має надвисоку роздільну здатність, контраст і колірну корекцію. Максимальна точність і відтворюваність результатів забезпечується за допомогою моторизованих компонентів. Мається сенсорна панель керування.

Для мікроскопа даної моделі доступні всі сучасні методи дослідження. У відбитому світлі – світле і темне поле, поляризація, диференційно-інтерференційний контраст, люмінесценція. У минаючому світлі – світле і темне поле, фазовий контраст, поляризація (ортоскопія та коноскопія), диференційно-інтерференційний контраст.

## 1.2. Мікроскопи стереоскопічні панкратичні

Мікроскопи стереоскопічні панкратичні (бінокюляри) призначені для спостереження прямого об'ємного зображення об'єктів при плавній зміні збільшення, для вивчення тонких плівкових і прозорих об'єктів, а також для препарувальних робіт.

*Галузі застосування:*

- природничі науки – біологія, геологія, археологія;
- виробництво – годинникове, ювелірне, мікроелектроніка;
- криміналістичні дослідження;
- освіта;
- аматорські заняття.

Можливість освітлення минаючим або падаючим світлом значно розширює сферу застосування мікроскопа, забезпечуючи дослідження прозорих, напівпрозорих і непрозорих об'єктів.

Особливості пристрою й принципи роботи стереоскопічного мікроскопа будуть описані нижче на прикладі мікроскопа МСП-1 виробництва ВАТ «ЛЮМО» (рис. 1.14). Дана модель є найбільш спрощеною і призначена як для навчальних цілей, так і для рутинних лабораторних робіт.

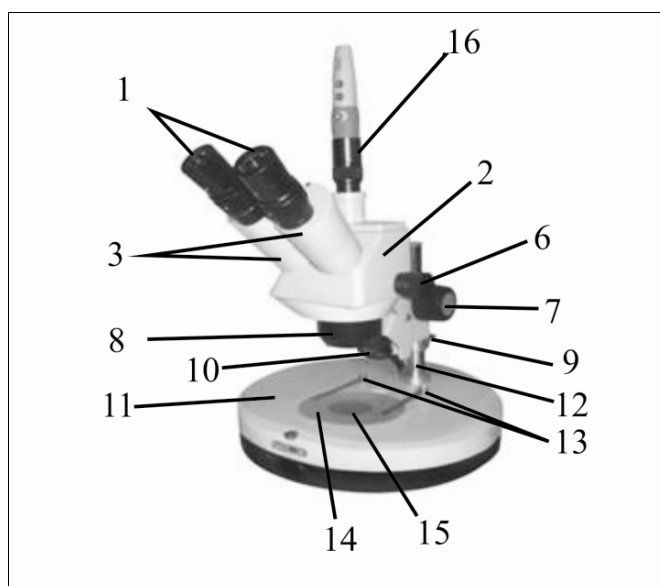


Рис. 1.14 Загальний вигляд мікроскопа МСП-1

**1.2.1. Оптична схема мікроскопа.** Оптична схема мікроскопа показана на рис. 1.15. При роботі в минаючому світлі світло від джерела 1, проходячи через конденсор 2, матове скло 3 і відбиваючись від матової пластини відбивача 4, рівномірно висвітлює препарат, поміщений на предметному склі 5. Зображення предмета, отримане за допомогою об'єктива 7 і двох пар систем Галілея 8 і 9, позмінне включення яких у хід променів дає чотири варіанти збільшень, фокусується додатковим об'єктивом 10 у фокальну площину окуляра 12.

За допомогою окулярів різних збільшень спостерігач розглядає зображення предмета, що дається мікроскопом.

Призми Шмідта 11 дають пряме зображення предмета і дозволяють змінювати міжзіничну відстань приладу від 56 до 72 мм відповідно до бази очей спостерігача.

**1.2.2. Опис конструкції.** Загальний вигляд мікроскопа показано на рис. 1.14. Мікроскоп складається з наступних основних вузлів:

- 1) оптична голівка мікроскопа;
- 2) окулярна насадка;
- 3) стіл мікроскопа;
- 4) освітлювач;
- 5) підлокітники;
- 6) підстава стола мікроскопа.

**Оптична голівка.** Оптична голівка 2 (рис 1.14) – основний вузол приладу, у який вмонтовані всі оптичні деталі. Головний оптичний вузол – об'єктив мікроскопа 8 з фокусною відстанню  $F = 80$  мм. Він кріпиться на різьбленні до корпусу оптичної голівки знизу. Вище об'єктива в корпусі встановлено барабан з галілеєвими системами. Вісь барабана закінчується рукоятками 6, при обертанні яких відбувається перемикання збільшень.

Щоб встановити потрібне збільшення досить, обертаючи барабан, сполучити цифру на рукоятці з індексом, нанесеним у вигляді крапки на підшипнику. При цьому перефокусування робити не потрібно. Кожне із шести положень барабана фіксується щигликом спеціального пружинного фіксатора. Зверху оптична голівка переходить в окулярні насадки 3, а також має вихідний отвір з адаптером для цифрової камери 16. Оптична голівка має механізм фокусування, що являє собою рейкове зчеплення. При обертанні рукояток 7 відбувається підйом і опускання оптичної голівки щодо стола мікроскопа, чим і досягається фокусування приладу на об'єкт. При розгляданні великих, об'ємних предметів, поміщених на столі мікроскопа, виникає необхідність додаткового підйому оптичної голівки. Для цього досить відвернути гвинт 9, підняти оптичну голівку напрямного стрижня 12 і знову затягти гвинт 6. При цьому потрібно дотримувати обережності, щоб не упустити оптичну голівку.

**Окулярна насадка** вироблена так, що дозволяє змінювати міжзіничну відстань приладу відповідно до бази очей спостерігача. Окулярні трубки 3 (рис. 1.14) кріпляться на оптичній голівці, відгвинчувати які категорично забороняється. Зверху в окулярні трубки вставляються окуляри 1 необхідних збільшень.

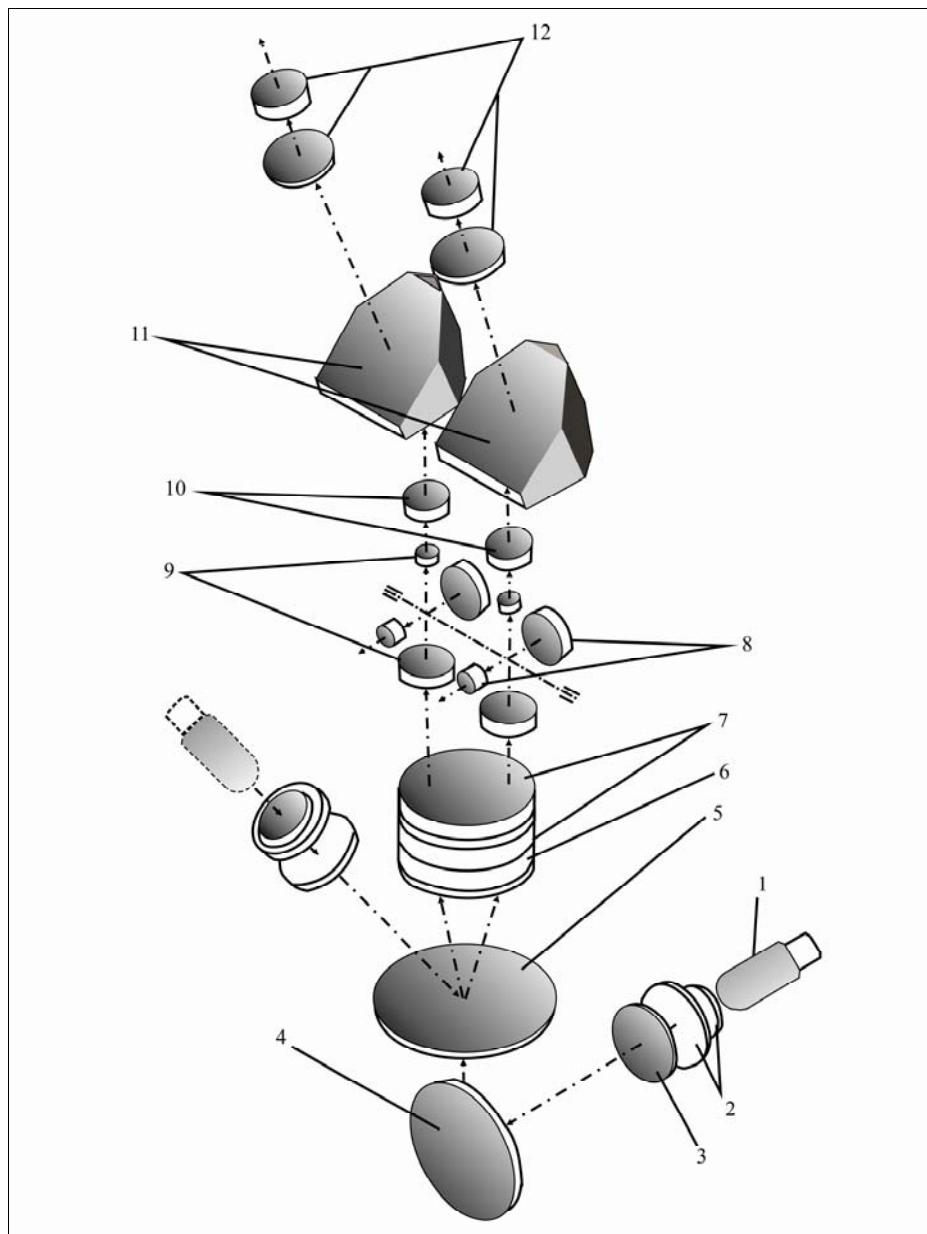


Рис. 1.15. Оптична схема мікроскопа МСП-1

**Стіл і підставка стола мікроскопа.** На столі мікроскопа *11* (рис. 1.14) на напрямному стрижні *12* за допомогою гвинта *9* кріпиться оптична голівка мікроскопа. Гвинт *9* при роботі повинен бути добре зафіксований. У верхній стінці стола є кругле вікно, у яке встановлюється пластина препарату *14*, два отвори для притисків *13*.

У підставі стола є отвір *15*, через який здійснюється підсвічування при роботі в минаючому світлі. За об'єктивом мікроскопа є зовнішній освітлювальний пристрій *10* для роботи у відбитому світлі.

*Освітлювач*, як було відзначено вище, може використатися як при роботі в минаючому, так і у відбитому світлі. Він складається з лампи, вбудованої в корпус мікроскопа, освітлення в цьому випадку здійснюється через отвір *15*, а також із зовнішнього освітлювача *10* з галогенною лампою, що кріпиться під об'єктивом мікроскопа.

**1.2.3. Порядок роботи.** Як було зазначено вище, прилад може працювати в різних режимах штучного освітлення залежно від виду об'єкта:

- а) у відбитому світлі;
- б) у минаючому світлі.

При штучному освітленні світло від галогенної лампи, проходячи через конденсор 10, падає (у випадку роботи у відбитому світлі) безпосередньо на об'єкт. Освітлювач при цьому розташовується під об'єктивом.

При роботі в минаючому світлі в систему включається освітлювач, вбудований у підставці стола мікроскопа. Освітлення здійснюється через вихідний отвір 15.

Стереоскопічний мікроскоп дуже простий в експлуатації, для початку роботи на ньому немає необхідності проводити попередні настроювання як, приміром, для поляризаційного мікроскопа. Перед початком роботи необхідно зняти захисний чохол, підключити мікроскоп до мережі живлення, приєднати модуль цифрової камери 16 до персонального комп'ютера і встановити окуляри необхідного збільшення.

**Робота з окуляром зі змінними шкалою та сіткою.** Для проведення лінійних вимірів або вимірів площ ділянок варто користуватися окуляром зі змінною сіткою (або шкалою) і діоптрійним наведенням, що входить у комплект до мікроскопа. Окуляр вставити в одну з окулярних трубок мікроскопа, обертаючи діоптрійне кільце, домогтися різкого зображення сітки або шкали залежно від того, що встановлено. Потім поворотом рукояток механізму фокусування мікроскопа домогтися різкого зображення об'єкта. Нижче поміщена перекладна табл. 1, у якій зазначено, якій істинній величині об'єкта відповідає одна поділка шкали або сітки при всіх збільшеннях мікроскопа.

Таблиця 1.1

Переведення значень збільшення об'єкта

Збільшення на шкалі рукояток	Один поділ шкали 0,1 мм	Сторона квадрату 1 мм
	Відповідає дійсній величині на об'єкті	
0,6	0,17	1,7
1	0,1	1,0
2	0,05	0,5
4	0,025	0,25
7	0,014	0,14

Щоб визначити істинні розміри об'єкта (його лінійні розміри або площу), досить підрахувати число поділок шкали, що укладається у вимірювану ділянку об'єкта, і це число помножити на число, зазначене в перекладній таблиці, що відповідає тому збільшенню мікроскопа, при якому проводиться вимір. Шкала і сітка являють собою скляні плоско паралельні пластини круглої форми. Ціна поділки шкали 0,1 мм. Ціна поділки сторони квадрата сітки 1 мм.



#### 1.2.4. Мікроскоп стереоскопічний панкратичний Carl Zeiss «SteREO Discovery.V12».



Рис. 1.16. Стереомікроскоп Carl Zeiss «SteREO Discovery.V12»

Найбільш сучасним і більш професійним є дослідницький стереоскопічний мікроскоп Carl Zeiss «SteREO Discovery.V12». Являє собою цілісний дослідницький комплекс, що складається безпосередньо з агрегатів стереоскопічного мікроскопа, вбудованих цифрових дисплеїв, фото/відео виходів і персонального комп'ютера з необхідним програмним забезпеченням.

Керування мікроскопом моторизоване (збільшення, робоча відстань, фокус) здійснюється із вбудованих дисплеїв за допомогою програмного забезпечення комп'ютера, за допомогою контрольного пристрою SyCo.

Мікроскоп дозволяє проводити дослідження у світлому полі, темному полі та поляризованому світлі, у минаючому або відбитому світлі.

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Призначення та галузь застосування стереоскопічних мікроскопів.
2. Опишіть оптичну схему мікроскопа МСП-1.
3. Назвіть основні агрегатні вузли мікроскопа МСП-1.
4. Опишіть пристрій оптичної голівки мікроскопа МСП-1.
5. Яким чином здійснюється фокусування на об'єкт дослідження.
6. Опишіть освітлювальну систему мікроскопа МСП-1.
7. Порядок роботи з мікроскопом МСП-1 у відбитому та минаючому світлі.
8. Як проводиться робота з окуляром зі змінними шкалою та сіткою?

## РОЗДІЛ 2. ВИДИ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ МІКРОСКОПІЧНОГО ВИВЧЕННЯ ТА МЕТОДИКА ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

### НАВЧАЛЬНІ ЦІЛІ ДРУГОГО РОЗДІЛУ – ВИВЧЕННЯ НАСТУПНОГО МАТЕРІАЛУ:

1. Основні види мікропрепаратів для вивчення оптичних властивостей.
2. Прозорі, прозоро-поліровані шліфи, їх призначення та загальна характеристика.
3. Аншліфи, аншліфи-брикети, їх призначення та характеристика.
4. Імерсійні препарати та галузь їх застосування.
5. Нестандартні мікропрепарати для вивчення об'єктів досліджень технічної петрографії, медичної петрографії, матеріалознавства.
6. Методика виготовлення мікропрепаратів.
7. Сучасне обладнання для виготовлення мікропрепаратів.
8. Особливості виготовлення об'єктів досліджень технологічної петрографії та об'єктів, які мають незвичайні властивості.

### НА ОСНОВІ НАБУТИХ ЗНАТЬ ЧИТАЧ ПОВИНЕН ВМІТИ:

1. Пояснювати призначення основних мікропрепаратів для вивчення мінеральної речовини.
2. Охарактеризувати узагальнено процес виготовлення прозорих та прозоро-полірованих шліфів.
3. Знати відмінності технологічних схем виготовлення прозорих та прозоро-полірованих шліфів.
4. Охарактеризувати підготовчі операції при виготовленні шліфів.
5. Знати, як проводиться шліфування робочої поверхні зразка.
6. Знати, які види просочування та цементації зразків існують.
7. Вміти охарактеризувати особливості шліфування та полірування зразків.
8. Охарактеризувати процес виготовлення аншліфів.
9. Знати види імерсійних препаратів та їх призначення.
10. Знати, як здійснюється перетворення петрографічних препаратів в імерсійні препарати.
11. Охарактеризувати особливості виготовлення шліфів з об'єктів технологічної петрографії.
12. Охарактеризувати особливості виробництва шліфів з об'єктів, які мають незвичайні властивості.

## 2.1. Препарати для мікроскопічних досліджень

Мікроскопічне вивчення взірців гірських порід і рудних проб являє собою основний метод петрографічних, мінераграфічних та вуглепетрографічних досліджень.

Задля вивчення головних оптичних властивостей мінералів, гірських порід і руд з метою їх діагностики при вивченні мікрокомпонентів вугілля використовуються наступні основні види мікропрепаратів:

- прозорі шліфи;
- прозоро-поліровані шліфи;
- анішліфи (поліровані шліфи);
- анішліфи-брикети;
- порошкові препарати (імерсійні препарати);
- нестандартні мікропрепарати.

Прозорий шліф (нім. *Schliff*, від *schleifen* – точити, шліфувати) являє собою надтонку пластинку гірської породи, мінералу або викопного вугілля товщиною 0,02...0,04 мм, котра приклеєна до предметного скла за допомогою канадського бальзаму (або епоксидної смоли) та покрита тонким покривним склом (рис. 2.1); товщина вугільних шліфів може коливатись від 0,01 до 0,02 мм, в залежності від ступеня вуглефікації (рис. 2.2). Більшість мінералів за такої товщини зрізу прозорі, що дозволяє вивчати їх за допомогою поляризаційного мікроскопу (оптичні властивості мінералів, їх форми, характер взаємовідношень та ін.).

Для досліджень викопного вугілля або взірців та проб, які вміщують велику кількість рудних мінералів, використовуються *прозоро-поліровані шліфи*. Як і прозорі шліфи вони являють собою надтонку пластинку гірської породи або мінералу, котра ретельно відполірована та не покрита покривним склом (рис. 2.2, 2.3). Такі шліфи можна вивчати як у прохідному, так і у відбитому світлі. Розміри прозорих та прозоро-полірованих шліфів можуть змінюватись від 15x15 мм до 100x100 мм та більше, в залежності від задач досліджень (рис. 2.4).

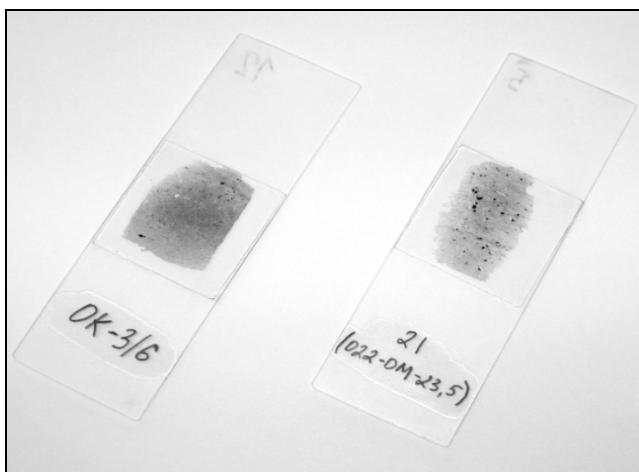


Рис. 2.1. Прозорі шліфи гірських порід

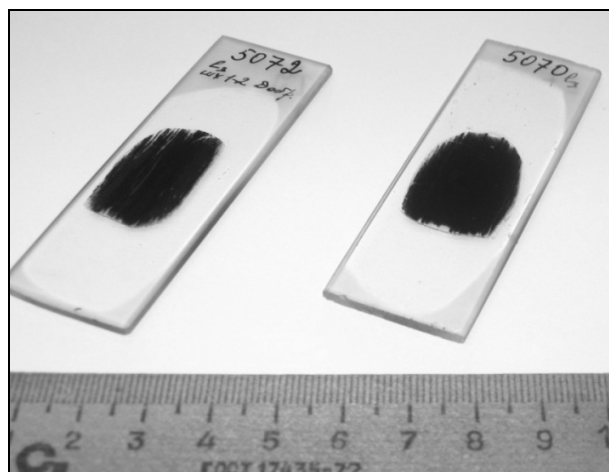


Рис. 2.2. Вугільні шліфи

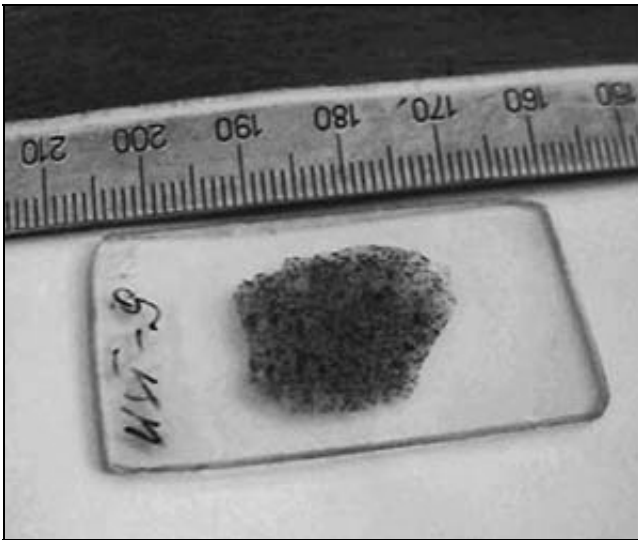


Рис. 2.3. Прозоро-полірований шліф

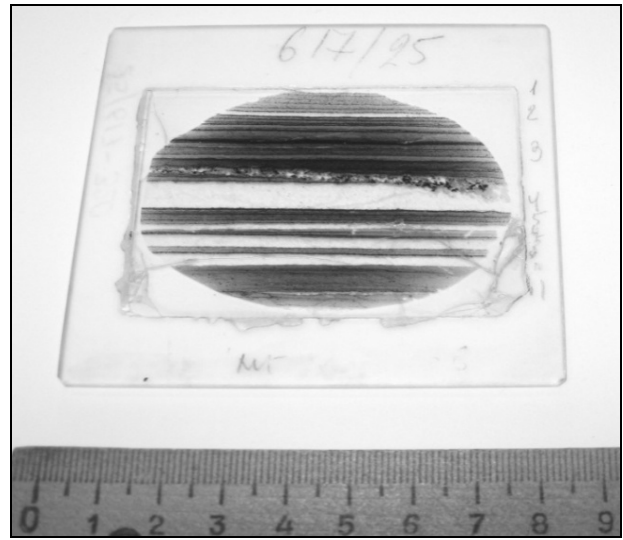


Рис. 2.4. Прозорий шліф нестандартного розміру

*Аншлиф (полірований шліф)* – препарат із гірської породи, руди або викопного вугілля, одна чи дві поверхні якого (зазвичай поверхня вертикального зламу) пришліфовані та відполіровані для вивчення у відбитому світлі за допомогою поляризаційного мікроскопа, бінокюляра (стереоскопічного мікроскопа) (рис. 2.5).

Для зручного використання аншлифи намагаються виготовляти зі стандартними розмірами 25x25x8 мм, однак, розміри їх можуть коливатись в залежності від задач досліджень або особливостей будови вихідної гірської породи.

Для більш наглядного вивчення характеру зміни текстурно-структурних особливостей гірських порід та руд виготовляються ретельно відполіровані пластини або штуфи різних розмірів (так звані «личківки») (рис. 2.6).

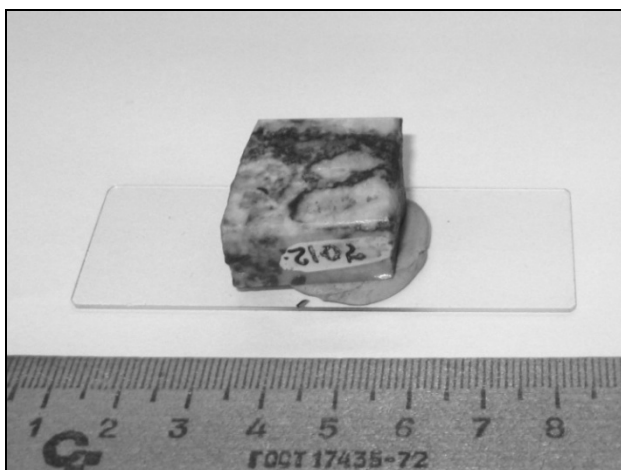


Рис. 2.5. Аншлиф, який закріплено на предметному склі



Рис. 2.6. Поліровані штуфи

*Аншлиф-брикет.* Частіше за все являє собою препарат циліндричної форми діаметром 20...30 мм і висотою 10...15 мм, одна з вершин якого ретельно відполірована (рис. 2.7).

Складається такий аншлиф-брикет із дрібних уламків гірської породи, що досліджується, руди (продуктів збагачення) або викопного вугілля та цементуючої зв'язувальної речовини – шелак, полістирол, епоксидна смола та ін. Використовується для досліджень у відбитому світлі за допомогою поляризаційного мікроскопа.

*Порошкові препарати (імерсійні препарати)* виготовляються із крихких об'єктів (пісок, глина, кристалічний порошок). Міцні об'єкти попередньо подрібнюються.

Порошок, що підлягає дослідженню, наноситься на предметне скло і покривається покривним. У простір між стеклами впускається крапля імерсійної рідини з відомим показником заломлення (рис. 2.8). Використовується для визначення показника заломлення дрібних часток об'єкта, що досліджується.

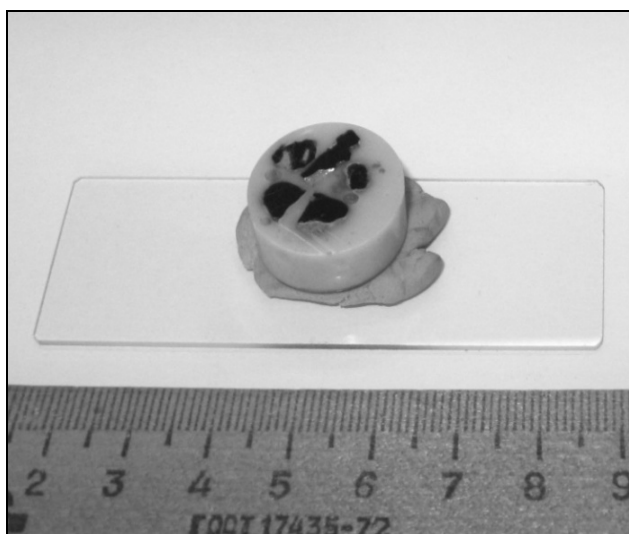


Рис. 2.7. Аншлиф-брикет

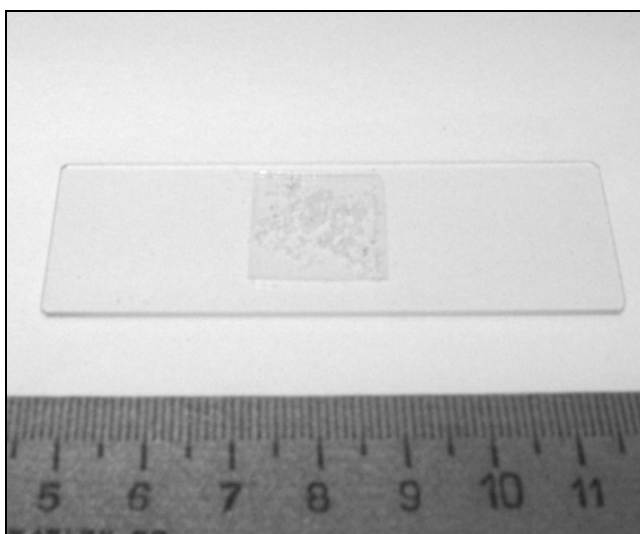


Рис. 2.8. Імерсійний препарат

*Нестандартні мікропрепарати.* Нестандартні мікропрепарати являють собою такі самі шлифи, аншлифи й аншлифи-брикети, методика виготовлення яких відрізняється від методики виготовлення стандартних мікропрепаратів; або ті, що виготовляються з незвичайних об'єктів дослідження.

Це викликано необхідними вимогами до готового препарату (залежать від цілей досліджень) або незвичайними властивостями вихідного досліджуваного об'єкта (розчинність у воді або вологоємність, танення при кімнатній температурі, малі розміри та інше).

Об'єктом дослідження може бути не тільки порода або мінерал, але й будь-який матеріал, що складається з неорганічних і органічних сполук, і навіть живі організми (кісткова тканина, мінеральні відкладення внутрішніх органів та інше), тобто будь-який матеріал, що можливо дослідити у минаючому або відбитому світлі поляризаційного мікроскопа.

Такі препарати найчастіше виготовляються для вивчення об'єктів дослідження таких прикладних наук, як технічна петрографія, медична петрографія, матеріалознавство та інших.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Назвіть основні види мікропрепаратів.
2. Чим відрізняються між собою петрографічні та вугільні шліфи?
3. Чим відрізняються між собою аншліфи та аншліфи-брикети?
4. Назвіть групи нестандартних мікропрепаратів.
5. Призначення порошкових мікропрепаратів

### **2.2. Методика виготовлення мікропрепаратів**

Виготовлення препаратів для вивчення гірських порід, руд і викопного вугілля є важливою частиною методу мікроскопії. Для одержання задовільних результатів при вивченні об'єктів, що досліджуються, бажано, щоб препарати були високої якості і мали якнайменше дефектів (подряпини, відколи, низька якість полірування, пухирці повітря у клейкій масі, сторонні домішки та ін.). Виготовлення ідеальних препаратів є дуже трудомістким процесом і являє собою своєрідне мистецтво. Це пояснюється тим, що різні мінерали, що входять до складу гірських порід і руд, а також мікрокомпоненти вугілля, мають різну твердість, розмір, пластичність, міцність, пористість, крихкість. Виготовлення препаратів з багатокомпонентних об'єктів вимагає особливої майстерності, що, звичайно, здобувається з досвідом.

В наш час у різних лабораторіях використовуються різноманітні підходи до виготовлення препаратів для мікроскопічного вивчення. Описати їх повністю неможливо, тому нижче будуть розглянуті методи, що застосовуються в лабораторіях Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» та Інституту геотехнічної механіки НАН України. У методах виготовлення, які пропонуються до уваги, закладені технологічні ланцюжки, які є основою для будь-якого процесу виробництва мікропрепаратів.

**2.2.1. Виготовлення прозорих і прозоро-полірованих шліфів** є досить складним і трудомістким процесом. Виготовлення як прозорих, так і прозоро-полірованих шліфів здійснюється за однією технологічною схемою, відмінності полягають лише в кінцевих стадіях приготування препаратів. Процес виготовлення шліфів можна розділити на ряд операцій: підготовка зразка → шліфування робочої поверхні зразка → просочування і цементація зразка → приклеювання зразка на предметне скло → шліфування і полірування приклеєного зразка → покривання шліфа покривним склом (табл. 2.1).

**Підготовка зразків.** Підготовка зразків починається зі складання робочої відомості проб. Так зразкам привласнюються порядкові номери, якими зручно маркірувати одержувані в процесі розпилювання заготовки. Маркірування вихідного зразка записується навпроти привласненого порядкового номера. Приклад відомості наведено у вигляді табл. 2.2.

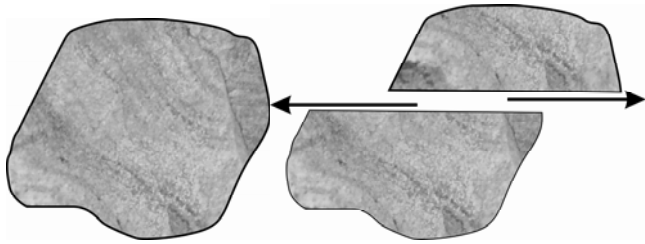

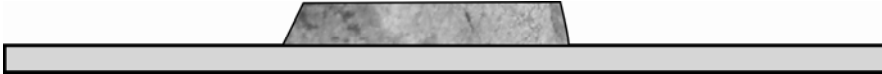


Методика підготовки зразків залежить у першу чергу від природи вихідної породи і бажаних розмірів шліфа. Якщо шліф виготовляється із щільної монолітної породи, спочатку, як правило, з нього вирізається заготовка

(пластинка) бажаного розміру. Заготовка не повинна бути занадто товстою, щоб згодом не доводилося сточувати зайвий матеріал (може привести до перегріву клейкої маси, або до відклеювання від предметного скла), але і не занадто тонкою, щоб не виникали проблеми із приклеюванням її на предметне скло. Найчастіше розміри такої пластинки становлять 20x20x5 мм.

Вирізається заготовка за допомогою верстата з алмазним диском (кругом). Диск складається з основної частини (загартованого металу) і матриці по краю диска з імпрегнованими алмазами або алмазним напиленням. На даний час існує велика кількість різних розпилювальних верстатів і дисків. Тому, залежно від способу розпилювання, або зразок повільно рухають до краю диска (рис. 2.9,а), щоб зробити зріз, або алмазний диск направляють на зразок (рис. 2.9,б). Для запобігання перегріву, до краю диска подається мастильний матеріал (вода або спеціальна рідина).

Таблиця 2.1

Стадії виготовлення петрографічного шліфа

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Підготовка зразка (розпилювання).</li> <li>2. Шліфування робочої поверхні.</li> <li>3. Просочування (цементация зразка)</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Приклеювання зразка на предметне скло</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Відпилювання зовнішньої частини зразка</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Шліфування і полірування зразка</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. Покривання покривним склом</li> </ol>

Як було зазначено вище, якщо зразок монолітний і має низьку пористість, з нього вирізається заготівля необхідного розміру та відразу подається на шліфування без попереднього цементування (просочування). Якщо зразок має підвищену тріщинуватість та пористість, у його склад входять вологоємні мінерали, його необхідно після розпилювання (або сколювання, якщо розпилювання неможливе) просочити цементуючою речовиною.



Рис. 2.9,а. Розпилувальний верстат «Metkon» серії «Servocut»



Рис. 2.9,б. Розпилувальний верстат «Metkon» серії «Metacut»



Рис. 2.10 Шліфувальні верстати «Metkon» серії «Forcipro»

Таблиця 2.2

Робоча відомість № 30 (Ультрамафіти масиву Рай-Із)

<i>№ п.п.</i>	<i>Маркування проби</i>	<i>Порода</i>	<i>Примітки</i>
1	РИ – 27 – 2	Клинопіроксенит	шліф/аншліф
2	РИ – 5 – 1	Дуніт	-
...	...	...	...
n	РИ – 36 – 3	Гарцбургіт	-

Необхідно відзначити, що після вирізання зразка всі обрізки та відколки вихідної породи зберігаються, вони можуть використовуватись при виготовленні інших мікропрепаратів або для проведення додаткових досліджень.

**Шліфування робочої поверхні зразка** проводиться або за допомогою спеціальних шліфувально-полірувальних верстатів, у яких процес частково автоматизований (рис. 2.10), або «вручну», за допомогою чавунного



полірувального кола і абразивного матеріалу різної зернистості (найчастіше використовується карбід кремнію). Завдання даної операції – позбутися всіх нерівностей робочої поверхні зразка, що були отримані під час розпилювання.

При використанні напівавтоматичних шліфувально-полірувальних верстатів зразки закріплюються в спеціальних держачах. На панелі керування задаються необхідні параметри, після цього запускається процес шліфування. Після кожного етапу шліфування оператор замінює еластичні полірувальні (шліфувальні) кола або абразивний порошок. Застосування спеціалізованих камер для полірування усувають проблеми переносу забруднення між етапами підготовки. Більш докладно процес шліфування розписано в інструкціях керування і є суцільно індивідуальним для різних шліфувальних верстатів.

При використанні чавунних полірувальних кіл (шліфування «вручну») перед початком робіт абразивний матеріал відсипається в робочу ємність, з якої його буде зручно брати, і заливається водою так, щоб вона ледь перекривала матеріал. Після запуску полірувальне коло промивається водою, щоб уникнути влучення абразивного матеріалу великої крупності, що може зіпсувати робочу поверхню зразка. Далі в центр кола наноситься абразивний порошок, розведений водою. Зразок береться двома руками і вертикально опускається на поверхню полірувального кола в центр. Трохи притискаючи зразок до кола, відтворюються зворотно-поступальні рухи від центра до периферії, потім від одного краю кола до іншого. Абразивний порошок рівномірно розподіляється по поверхні полірувального кола, і робоча поверхня зразка поступово шліфується.

Звичайно після розпилювання зразок має рівну поверхню, тому шліфування можна починати з абразивного порошку із зернистістю 53 мкм або марки «F220» за міжнародним стандартом (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Класифікація абразивних матеріалів за міжнародним стандартом

А	F12	F14	F16	F20	F22	F24	F30	F36	F40
Б	1700	1400	1180	1000	850	710	600	500	425
А	F46	F54	F60	F70	F80	F90	F100	F120	F150
Б	355	300	250	212	180	150	125	106	75
А	F180	F220	F240	F280	F320	F360	F400	F500	F600
Б	63	53	44,5	36,5	29,2	22,8	17,3	12,8	9,3
А	F800	F1000	F1200	А – маркірування за стандартом; Б – крупність матеріалу, мкм.					
Б	6,5	4,5	3,0						

У випадку високої міцності зразка або великих нерівностей варто застосовувати спочатку абразивний порошок зернистістю 150...106 мкм. Тривалість прийому шліфування для порошоків різної зернистості залежить від міцності і твердості гірської породи і може становити 15...120 секунд. Варто пам'ятати, що в ході шліфування на полірувальне коло необхідно додавати небагато води, щоб зразок не прилипав до нього. Для цього заготовка

вертикально відривається від поверхні кола, у цей час на нього подається необхідна кількість абразивного матеріалу та води.

Також слід зазначити, що для перевірки якості поверхні, що шліфується, заготовка промивається водою в спеціальній ванночці, далі протирається і висушується. Не слід перевіряти зразок без видалення зайвої вологи, тому що водяний шар може спотворювати дійсне зображення робочої поверхні.

Після кожного прийому шліфування, перед зміною абразивного порошку, коло ретельно відмивається від попереднього абразивного матеріалу. Вода у ванночці для промивання виливається в окрему більшу посудину, у якій буде осаджуватися використаний абразивний матеріал. Ванночка промивається і наповнюється чистою водою.

Операція шліфування на полірувальному колі повторюється ще кілька разів з поступовим зниженням зернистості абразивного матеріалу. Звичайне зниження зернистості відбувається в такій послідовності: 150 мкм → 106 мкм → 53 мкм → 29,2 мкм → 22,8 мкм.

Далі шліфування зразка відбувається «вручну» на товстому склі у два підходи з абразивними порошками зернистістю 12,8 мкм та 6,5 мкм відповідно. Для абразивів різної зернистості використовуються різні стекла, які перед шліфуванням ретельно промиваються водою і протираються. На скло подається необхідна кількість абразивного порошку з водою. Далі зразок опускається робочою поверхнею на скло і шліфується круговими рухами, розносячи абразивний матеріал по всій площі скла. Таким чином можна уникнути утворення ямок і западин на склі після тривалого шліфування, а робоча поверхня зразка буде ідеально рівною.

Для одержання рівномірно шліфованої поверхні без дефектів при шліфуванні робочої поверхні зразка необхідно стежити за чистотою абразивного матеріалу, не допускати змішування абразивних порошоків різної зернистості. Зберігати абразивний матеріал треба в окремих герметичних ємностях, на яких зазначена марка або зернистість абразивних часток. При зміні зернистості абразивного матеріалу необхідно ретельно промивати зразок, полірувальне коло або скло, міняти воду в промивній посудині. При влученні в абразивний матеріал великих абразивних часток або сколів породи, зразок і полірувальне коло ретельно промиваються водою, наноситься нова порція абразивного матеріалу. При контролі поверхні, що шліфується, необхідно видаляти зайву вологу.

**Просочування і цементация зразка.** Цементация зразка проводиться спеціальними клейкими речовинами, які, заповнюючи тріщини і пори, зберігають його цілісність, текстуру і структуру. Цементация може проводитися за допомогою термічної обробки («гарячий» спосіб) або без нагрівання зразка («холодний» спосіб).

«Холодна» цементация проводиться без нагрівання зразка шляхом його просочування епоксидною смолою низької в'язкості (клеєм на епоксидній основі або іншим клейкими речовинам). Така цементация проводиться для зразків, які містять мінерали або компоненти, термічна обробка для яких небажана (наприклад, сульфіди міді, мінерали, що містять воду, вугілля,

сапропеліти). Сам процес просочування проводиться найчастіше в умовах вакууму або зниженого атмосферного тиску (0,1...0,2 атмосфер). Для проведення даного типу цементації використовуються різні системи вакуумного просочення (рис. 2.11а, б, в).



Рис. 2.11. Системи вакуумного просочування «Buehler»; а) серія «Cast n'Vac 1000», б) серія «Cast n'Vac», в) серія «Technomat»

Тривалість процесу *«холодного»* просочення залежить від ступеню пористості та тріщинуватості зразка, його розмірів. Максимальний час просочування може становити до 10 годин в умовах зниженого тиску. Проводиться згідно з інструкціями систем і установок, що використовуються.

*«Гаряча» цементація* проводиться за допомогою термічної обробки зразка шляхом просочування його каніфоллю («проварювання»). Є швидким, простим і ефективним способом цементації зразків, які складаються зі стійких до температури мінералів (компонентів). Процес просочування зводиться до наступних операцій:

- зразки складаються в металеві посудини (ванночки) робочою поверхнею донизу. Попередньо обабіч яскравим олівцем на них наноситься привласнений раніше порядковий номер;

- зразки засипаються здрібною каніфоллю (розмір часток 0,1...1 мм) так, щоб вона повністю покривала заготовки;

- для розчинення каніфолі в посудину із засипаними зразками заливається толуол у співвідношенні 1 частина толуолу та 3...6 частин(и) каніфолі (пропорції залежать від будови зразка, його пористості і тріщинуватості, отже, від необхідної тривалості просочування);

- посудини поміщають на електричну піч так, щоб площа дна щільно прилягала до її площини. Задається і підтримується температура 100...150°C;

- процес просочування («проварювання») триває до повного випаровування толуолу, коли розплавлена каніфоль при застиганні стає крихкою і вільно стирається в порошок. Готовність визначається візуально, «вручну»;

- «проварені» зразки викладають на нехолодну поверхню і дають їм охолонути при кімнатній температурі;

- охолодженні зразки відчищають від каніфолі та розкладають за порядковими номерами.

Після процесу просочування робоча поверхня повторно шліфується абразивним порошком із зернистістю 6,5 мкм для того, щоб забрати надлишки каніфолі або епоксидної смоли та вирівняти площину приклеювання.

Щоб уникнути неякісного просочування, варто пам'ятати, що відшліфовані зразки повинні бути очищені і просушені (зайва волога може порушити цілісність зразка при «гарячому» просочуванні). Перед процесом просочування на зразки необхідно нанести привласнені порядкові номери на двох різних площинах заготовки. У ванночки для «проварювання» зразки складаються робочою поверхнею донизу. Небажано доводити розчин каніфолі та толуолу до кипіння і перегрівати зразки, каніфоль може перегоріти і стати занадто крихкою. Не слід охолоджувати зразки, спеціально знижуючи температуру (поливати холодною водою, використовувати морозильні камери), це може призвести до руйнування заготовки.

**Приклеювання зразка на предметне скло** є одним із самих складних і відповідальних етапів виготовлення шліфа. Приклеювання заготовки повинно відбуватись дуже швидко і точно, щоб не встигла охолонути або застигти клейка маса, яка повинна бути рівномірно розподілена між предметним склом і поверхнею зразка.

В наш час існує безліч прозорих клейких речовин, оптичні властивості яких відомі і підходять для виготовлення шліфів. Найчастіше зразок приклеюють до предметного скла за допомогою епоксидної смоли (клею на епоксидній основі) або канадського бальзаму (піхтового бальзаму). Розмір предметних стекол коливається залежно від розмірів заготовки. В основному використовуються стекла розміром 26x46 або 26x76 мм.

Залежно від в'язучих властивостей клейкої речовини, предметні стекла можуть матуватися з боку приклеювання для збільшення зчеплення або залишатися прозорими. В основному стекла матуються при використанні канадського бальзаму під час приклеювання «вручну».

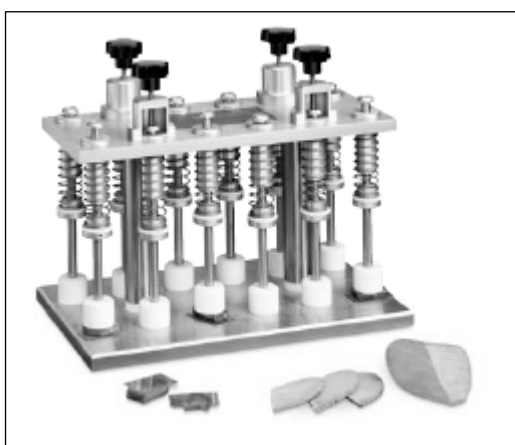


Рис. 2.12. Столик для фіксації та приклеювання

Приклеювання зразка також може проводитись за допомогою столика для фіксації (рис. 2.12). За допомогою притискних пружин на столику може бути розміщено до 12 зразків розміром до 50x75мм. Якщо для приклеювання потрібна висока температура, а також для прискорення часу схоплювання, столик цілком може бути поміщений на гарячу прецизійну плитку. Використання такого столика дозволяє витримувати однорідність

товщини клейкого шару (найчастіше епоксидної смоли), що знаходиться між зразком і склом. Використання епоксидної смоли дозволяє мати у своєму розпорядженні деякий запас часу до початку її застигання, тому процес приклеювання може відбуватися без зайвого поспіху. Клейка речовина

рівномірно наноситься на робочу поверхню зразка і предметне скло, далі вони з'єднуються і поміщаються під притискні пружини столика для фіксації до повного застигання.

Приклеювання зразка за допомогою канадського бальзаму є більш складним процесом і вимагає точності та швидкості виконання, які здобуваються з досвідом роботи. *Приклеювання відбувається за наступною схемою:*

– перед початком приклеювання предметні стекла матують з однієї сторони абразивним порошком зернистістю 44,5...53 мкм, при необхідності знімають фаски;

– на нематованому боці скла наносять порядковий номер, привласнений зразку при складанні відомості;

– нагрівають полотно електричної печі до 150...200°C, зручно розташовують зразки та предметні стекла, складені за порядковими номерами.

– предметне скло пінцетом кладуть нематованим боком на полотно печі всією площиною для рівномірного нагрівання. Притримуючи скло, на нього наносять твердий канадський бальзам, у цей самий час на полотно печі кладуть зразок робочою поверхнею донизу;

– після прогріву і розплавлення бальзаму зразок знімають з полотна печі та кладуть на рівну поверхню робочою поверхнею догори. Миттєво пінцетом з печі знімають предметне скло, перевертають і притуляють до краю зразка під гострим кутом. Далі склом поступово накривають робочу поверхню зразка, видавлюючи надлишки бальзаму та пухирці повітря;

– приклеєне скло невеликим зусиллям притискають зверху для надійної фіксації, далі пінцетом його знімають, перевертають і кладуть на нехолодну поверхню для остигання при кімнатній температурі;

Описані вище операції (за винятком підготовки предметних стекол) найчастіше займають не більше хвилини для одного зразка.

Для якісного приклеювання перед початком процедур поверхня приклеювання зразків і стекол повинна бути очищена від сторонніх часток і вологи. Щоб уникнути плутанини при подальшій обробці всі предметні стекла необхідно маркірувати (нанести порядковий номер, привласнений зразку при складанні відомості). Під час приклеювання на канадський бальзам полотно печі не повинно бути занадто гарячим, щоб уникнути руйнування предметного скла. Треба уникати перегрівання або закипання бальзаму, це може призвести до зміни його в'язучих властивостей. Також варто уникати перегрівання зразка, після приклеювання це може призвести до закипання бальзаму. Якщо після приклеювання між склом і зразком залишилися пухирці повітря, варто трохи підігріти предметне скло, очистити робочу поверхню зразка і провести повторне приклеювання на нове предметне скло. Варто уникати швидкого остигання заготовок, це може призвести до порушення міцності канадського бальзаму або його руйнування.

**Шліфування та полірування поклеєного зразка.** Даний етап виготовлення шліфів проводиться після повного застигання клейкої речовини. Зайвий матеріал приклеєного зразка може видалятися за допомогою

прецизійного різання на спеціальних верстатах (рис. 2.13) (простий і швидкий спосіб обробки) або шляхом шліфування «вручну» абразивним матеріалом із зернистістю 250...150 мкм.

Подальше шліфування і полірування може проводитися за допомогою спеціальних систем виготовлення петрографічних шліфів (рис. 2.14).

Система являє собою напівавтоматичний пристрій, що може виробляти шліфи досить швидко, не ставлячи під загрозу точність або якість готового препарату. Така автономна система складається з алмазного відрізного диска, алмазного шліфувального диска і вакуумного держака (присоски), що утримує предметні стекла. Контролюють різання і подальше шліфування високоточні мікрометри. Тобто, закріпив заготовку на держаку, задав необхідні параметри, залишається лише чекати готовий продукт – шліф необхідної товщини, рівномірно відшліфований (відполірований) по всій площі.



Рис. 2.13. Верстати для прецизійного відпилювання «Metkon» серії «Micracut»



Рис. 2.14. Система виготовлення петрографічних шліфів «Buehler»

Такі напівавтоматичні системи виготовлення петрографічних шліфів бувають не завжди доступні через їх високу вартість. Тому техніки та інженери часто проводять шліфування «вручну» на чавунному полірувальному колі (як це було описано в попередніх операціях). Однак дана операція є самого трудомісткою, потребуючою великого досвіду роботи і «легкої руки».

Тут необхідно не просто відшліфувати поверхню, а зменшити препарат до потрібної товщини, що спочатку контролюється візуально, а надалі за допомогою поляризаційного мікроскопа.

*Дана операція проводиться за наступною схемою:*

– полірувальне коло ретельно відмивається, щоб запобігти влучення сторонніх частинок, готуються абразивні порошки необхідної крупності (змішуються з водою);

– перед шліфуванням на коло наноситься абразивний порошок, препарат змочується водою, береться обома руками (середніми та великими пальцями) по краях предметного скла, вказівними пальцями притискається зверху;

– препарат акуратно опускається вертикально вниз на полірувальне коло в центрі та трохи притискається всією площиною;

– далі відбуваються зворотно-поступальні рухи від центра до периферії, потім від одного краю кола до іншого, періодично вони замінюються круговими та еліпсоїдними рухами;

– як було відзначено вище, шліфування може починатися з абразивного матеріалу із зернистістю 250...150 мкм для видалення зайвого матеріалу. Далі йде поступове зниження крупності абразивного матеріалу: 150 мкм → 106 мкм → 53 мкм → 29,2 мкм → 22,8 мкм;

– шліфування на колі закінчується на порошок із зернистістю 22,8 мкм. Приклеєний зразок уже досить тонкий (близько 0,1 мм) та зазвичай прозорий (якщо присутні нерудні мінерали). За ступенем прозорості візуально контролюється товщина шліфа та рівномірність шліфування;

– далі здійснюється доведення шліфа на товстому склі порошками із зернистістю 12,8 мкм та 6,5 мкм. Скло попередньо відмивається, на нього наноситься необхідна кількість абразиву та води;

– при доведенні на порошок 12,8 мкм товщина шліфа вже контролюється поляризаційним мікроскопом за інтерференційним забарвленням мінералів. Якщо контролювати шліф за інтерференційним забарвленням неможливо (зразок має мінерали, які важко діагностувати), при приклеюванні зразка на предметне скло разом з ним приклеюють зерно (агрегат) кварцу або польового шпату, по інтерференційних картинках яких і контролюється товщина шліфа при доведенні;

– подальше доведення прозорих шліфів проводиться на порошок із зернистістю 6,5 мкм;

– порошок розбавляється з водою та гліцерином для більш м'якого шліфування;

– після доведення шліф відмивається і просушується та подається на покривання покривним склом.

При виготовленні прозоро-полірованих шліфів після доведення до товщини 0,3...0,4 мкм шліф полірується за допомогою алмазних паст і суспензій (зернистість менше 1 мкм), а далі за допомогою окису хрому або полірувальної паст (паста ДОІ) на повстяному колі. Після полірування прозоро-полірований шліф відмивається та відчищається від зайвого канадського бальзаму (епоксидної смоли) розчинником (метилбензол). Такий шліф не покривається покривним склом і готовий до застосування.

Вугільні шліфи також є прозоро-полірованими, однак виготовлення їх є дуже трудомістким процесом, що вимагає витримки, терпіння і вправності. Після доведення вугільного шліфа на абразивному порошок крупністю 6,5 мкм він шліфується на порошках крупністю 3...1 мкм. Прийом операцій шліфування на різних абразивних порошках повинен проходити мінімальну кількість часу (кілька кругових рухів). Далі проводиться шліфування полірування за

допомогою алмазних паст, окису хрому або пасти ДОІ «вручну». Проводити полірування можна і на верстаті, однак на знижених оборотах. Варто пам'ятати, що вугілля дуже чутливе до підвищення температури, а при кінцевому доведенні і поліруванні пластинка вугілля настільки тонка, що температурному впливу піддається і клейка речовина (бальзам, епоксидна смола). Це може призвести до одержання бракованого шліфа. Товщина вугільного шліфа контролюється під мікроскопом у прохідному світлі за ступенем прозорості складових компонентів. Ступінь полірування контролюється у відбитому світлі. Після доведення і полірування шліф акуратно промивається та відчищається від зайвого канадського бальзаму (епоксидної смоли) і готовий до застосування. Вугільні шліфи рідко покриваються покривними стеклами, тому що вивчаються як у прохідному, так і у відбитому світлі.

Процес шліфування та доведення, як уже було відзначено вище, досить складний, тому щоб уникнути аварійної ситуації варто пам'ятати про нижчеперелічені правила.

При шліфуванні та доведенні шліфа предметне скло тримається великими та середніми пальцями обох рук, на полірувальне коло опускається гранично акуратно вертикально вниз і злегка притискається зверху вказівними пальцями. Траєкторія руху шліфа по полірувальному колу повинна часто мінятися, щоб після кожного підходу шліфування на препараті не залишалось подряпин, нерівностей і шорсткості.

Варто уникати великого тиску на шліф і завалювання однієї зі сторін шліфа при доведенні. При шліфуванні зразка необхідно стежити за чистотою абразивного матеріалу, не допускати змішування абразивних порошків різної крупності.

При зміні крупності абразивного матеріалу полірувальне коло ретельно промивається водою. При шліфуванні на абразивних порошках крупністю менше 53 мкм варто гранично уважно контролювати товщину шліфа на просвіт візуально. При найменшому відволіканні приклеєний зразок може повністю зникнути.

При доведенні та поліруванні прозоро-полірованих шліфів необхідно ретельно промивати препарат від абразиву, що може залишатися в мікротріщинах або мікропорах. При поліруванні вугільних шліфів варто пам'ятати про чутливість вугілля та клейкої речовини до підвищених температур.

**Покривання шліфа покривним склом.** Також є одним із самих складних і відповідальних етапів виготовлення шліфа. Дуже важливо покрити шліф так, щоб під покривним склом залишалась мінімальна кількість канадського бальзаму, рівномірно розподіленого по всій площі. Також важливо, щоб під склом не залишалось пухирців повітря. Покривання проводиться для того, щоб виключити нерівності та шорсткості верхньої частини шліфа, які залишилися після доведення на абразивному порошку 6,5 мкм, а також щоб уникнути ушкодження поверхні шліфа. У цілому вся операція зводиться до наступних послідовних дій:



– доведений шліф по краях відчищається лезом від зайвого канадського бальзаму, що залишився після приклеювання заготовки. Чищення варто проводити гранично акуратно, щоб не зіпсувати шліф;

– в окремій ємності до текучого стану нагрівається канадський бальзам (60...80°C), злегка розведений толуолом;

– у цей час підготовляються покривні стекла, які відчищаються від забруднень і розкладаються опуклою стороною нагору, також підготовляють маленькі дерев'яні палички для фіксації стекел;

– до початку покривання необхідно також підготувати джерело відкритого вогню (спиртову лампу або сухий спирт, які дають полум'я, що не коптить);

– після підготовчих операцій запалюється спиртова лампа, у ліву руку береться шліф і трохи нагрівається на відкритому вогні, далі на нагріту поверхню в центрі шліфа наноситься декілька капель розігрітого і розплавленого канадського бальзаму і повторно трохи підігрівається на відкритому вогні (кількість бальзаму, що наноситься, залежить від розмірів покривного скла);

– у праву руку моментально береться покривне скло і нагрівається на відкритому вогні, поки не зникне конденсат. Покривне скло відразу ж кладеться на канадський бальзам і притискається у центрі, здійснюючи невеликі кругові рухи, щоб бальзам рівномірно розподілився під склом і вийшли пухирці повітря. Безпосередньо процес покривання триває дуже швидко (близько 30 секунд), тому вимагає високої точності рухів і швидкості виконання;

– далі тонкою дерев'яною паличкою (можна сірником) скло вирівнюється, краї притискаються для кінцевої фіксації;

– препарат дають остинути. Коли канадський бальзам застигає, надлишки його зрізують гарячим лезом, а сам препарат витирають толуолом;

– після очищення від канадського бальзаму, препарат акуратно протирають м'якою вологою ганчірочкою, щоб забрати розводи, залишені толуолом;

Далі на готовий препарат наноситься маркування зразка, з якого був зроблений шліф. Маркування наноситься на матовану частину предметного скла тушшю, маркером або простим олівцем і покривається прозорим лаком.

При необхідності визначення показника заломлення зерна в прозорому петрографічному шліфі, можливо провести операцію перетворення петрографічного шліфа в імерсійний препарат, яка описана у розділі 2.2.4.3.

Процес покривання здійснюється дуже швидко, через що вимагає досвіду роботи і тренування. Для полегшення роботи, а також щоб уникнути неправильного покривання варто пам'ятати наступне.

Перед процесом покривання всі інструменти й компоненти повинні бути розставлені так, щоб ними можна було зручно та оперативно користуватися.

Канадський бальзам не слід перегрівати, тому що високі температури можуть призвести до розтріскування шліфа. Також не слід перегрівати і поверхню приклеювання шліфа перед нанесенням бальзаму. Під час покривання не слід сильно притискати скло пальцем або дерев'яною паличкою при фіксації, велике зусилля може призвести до руйнування скла.

Якщо під покривним склом після покривання залишилися пухирці повітря, варто трохи розігріти поверхню препарату з боку покривного скла і повторно вигнати пухирці повітря, трохи притискаючи покривне скло дерев'яною паличкою. Якщо канадського бальзаму не вистачило для застигання країв покривного скла, варто нанести розплавлений бальзам у проблемні місця, трохи підігріти та вигнати повітря з-під скла, притискаючи його дерев'яною паличкою.

Не слід знімати залишки канадського бальзаму до повного його застигання, це може призвести до зсуву покривного скла.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Опишіть узагальнено процес виготовлення прозорих і прозоро-полірованих шліфів.
2. Укажіть різницю між прозорим і прозоро-полірованим шліфом. Укажіть розходження в технологічній схемі їхнього виготовлення?
3. Які підготовчі операції проводять при виготовленні шліфів?
4. Як проводиться шліфування робочої поверхні зразка?
5. Які види просочування та цементації зразків існують? Опишіть коротко процес просочування та цементації.
6. За допомогою яких клейких мас проводиться приклеювання зразка на предметне скло? Опишіть порядок дій при приклеюванні.
7. Опишіть операції шліфування та полірування приклеєного зразка.
8. Укажіть особливості шліфування та полірування вугільних шліфів.
9. Укажіть порядок дій при покриванні готового шліфа. Коротко опишіть їх.

**2.2.2. Виготовлення аншліфів (полірованих шліфів).** Виготовлення аншліфів є більш простим і швидким процесом, у порівнянні з описаним вище процесом виготовлення прозорих і прозоро-полірованих шліфів. У технологічній схемі виготовлення аншліфів беруть участь операції підготовки робочої поверхні заготовки шліфа, вони докладно описані в розділі 2.2.1, тому нижче будуть розкриті скорочено, стосовно до виготовлення полірованих шліфів.

У цілому процес виготовлення аншліфів також підрозділяється на ряд послідовних операцій: підготовка зразка → шліфування робочої поверхні зразка → просочування та цементація зразка → повторне шліфування та полірування зразка. Вони можуть замінятися або повторюватися кілька разів (наприклад, цементація), залежно від складу вихідного зразка і його природи.

**Підготовка зразка.** Починається зі складання робочої відомості проб. Зразкам привласнюються порядкові номери для зручності маркування заготовок (табл. 2.4). Далі з вихідної породи (руди, вугілля, металу і т.д.) вирізається заготовка необхідних розмірів, які визначаються вимогами до аншліфа та вихідними розмірами зразка, який, приміром, може бути занадто малого розміру і буде повністю використаний для виготовлення препарату. Якщо вихідна порода є монолітною і міцною, вирізаний зразок подається на

шліфування робочої поверхні. Якщо ж вихідна порода крихка, пориста або тріщинувата, містить вологоємні мінерали, вирізаний зразок подається перед шліфуванням на цементування.

**Шліфування робочої поверхні зразка.** Може здійснюватися за допомогою спеціальних шліфувально-полірувальних верстатів, у яких процес частково автоматизований, або «вручну» за допомогою чавунного полірувального кола (планшайби) і абразивного матеріалу різної зернистості (найчастіше використовується карбід кремнію). Використання напівавтоматичних шліфувально-полірувальних верстатів значно спрощує процес шліфування і робить його швидким і якісним.

При використанні чавунного полірувального кола шліфування проводиться по такій же схемі, як і для заготовок для виготовлення прозорих і прозоро-полірованих шліфів (розділ 2.2.1). Крупність абразивного матеріалу поступово знижується (250 мкм → 150 мкм → 106 мкм → 53 мкм → 29,2 мкм → 22,8 мкм) до зернистості 22,8 мкм. При шліфуванні на абразивному порошку 53...22,8 мкм необхідно зняти технологічні фаски по контуру робочої поверхні, щоб уникнути надалі утворення сколів та неякісного полірування по краях. Також необхідно вирівняти нижню частину аншліфа – площадку, якщо це дозволяють розміри заготовки. Ця операція необхідна для зручності посадки аншліфа на предметне скло при його вивченні під мікроскопом.

Далі проводиться доведення зразка на товстому склі порошками зернистістю 12,8...6,5 мкм.

**Просочування та цементация зразка.** Як і для заготовок для прозорих і прозоро-полірованих шліфів, цементация зразка проводиться спеціальними клейкими речовинами, які, заповнюючи тріщини і пори, зберігають його цілісність, текстуру і структуру. З огляду на особливості мінерального (компонентного) складу вихідної породи застосовується «холодна» або «гаряча» цементация зразка.

Нагадаємо, що «холодна» цементация проводиться без нагрівання зразка шляхом його просочування епоксидною смолою низької в'язкості (клеєм на епоксидній основі або іншим речовинам, що клеять). Така цементация проводиться для зразків, які містять мінерали або компоненти, термічна обробка для яких небажана (наприклад, сульфід міді, мінерали, що містять воду, вугілля, сапропеліти).

«Гаряча» цементация проводиться за допомогою термічної обробки зразка шляхом просочування його каніфоллю («проварювання»). Є швидким, простим та ефективним способом цементации зразків, які складаються зі стійких до температури мінералів (компонентів).

Процес просочування докладно описаний у розділі 2.2.1 для заготовок шліфів. Для просочування та цементации аншліфів застосовується така сама схема без змін.

**Повторне шліфування та полірування зразка.** Повторне шліфування робочої поверхні також може проводитися за допомогою спеціальних шліфувально-полірувальних верстатів (рис. 2.10), при використанні яких у підсумку можна отримати готовий до використання препарат, або вручну на

товстому склі з абразивним порошком зернистістю 6,5 мкм. Попередньо зразок відчищається від залишків каніфолі (епоксидної смоли). Під час повторного шліфування після цементації можуть бути повторно зняті технологічні фаски.

Далі здійснюється доведення на абразивних пастах (алмазні пасти) із частками розміром 3...1 мкм.

Часто зразок може відправлятися на полірування з використанням окису хрому (або окису магнію) на повстяному колі відразу після шліфування на абразивному порошку 6,5 мкм. Для цього порошок окису хрому змішується з водою для одержання напіврідкої однорідної суміші, що наноситься рівномірно на повстяне коло. Перед поліруванням варто дати проникнути розчину між волокнами повстяного кола. Далі після включення приводу аншліф опускається робочою поверхнею вертикально вниз і міцно притискається всією площею до поверхні кола. Далі круговими рухами (проти напрямку обертання кола) проводиться полірування. Прийом повинен тривати 0,5...1 хвилину, після чого зразок протирається та контролюється на якість полірування спочатку візуально, потім під мікроскопом у відбитому світлі.

Описані вище процедури шліфування та полірування добре підходять для руд і порід, які складені мінералами високої та середньої твердості. При поліруванні м'яких мінералів виникають труднощі (приміром, «викрашування»), подолати які допомагає тільки досвід роботи. Також великі труднощі виникають при поліруванні агрегатів, у будові яких беруть участь як мінерали високої твердості, так і м'які мінерали. *Для виготовлення таких «проблемних» препаратів рекомендується:*

- не використовувати абразивні матеріали крупністю більше 106 мкм;
- знижувати крупність абразивного матеріалу поступово: (106 мкм → 75 мкм → 63 мкм → 53 мкм → 44,5 мкм → 36,5 мкм → 29,2 мкм → 22,8 мкм → 17,3 мкм → 12,8 мкм → 9,3 мкм → 6,5 мкм → 4,5 мкм → 3 мкм → 2 мкм → 1 мкм);
- шліфування проводити на малих обертах, доведення здійснювати при використанні мастильного матеріалу (гліцерин), полірування проводити вручну на м'яких тканинах або замші;
- прийоми доведення та полірування повинні бути короткими із частим контролем поверхні, що шліфується або полірується, щоб уникнути викрашування та появи поглиблень на місці м'яких мінералів.

При виготовленні аншліфів з вугілля, доведення здійснюється на абразивному порошку 6,5 мкм, далі проводиться полірування або на повстяному колі на низьких оборотах з використанням окису хрому (магнію), або вручну на замші чи м'якій тканині з використанням пасти ДОІ. При шліфуванні та поліруванні варто пам'ятати про те, що вугілля крихке і легко деформується, чутливе до підвищення температури.

**Вирівнювання аншліфів** проводиться за допомогою спеціального ручного преса (рис. 2.15). Для цього на предметне скло кладеться шматочок пластиліну (підійде м'який скульптурний пластилін), на нього зверху кладеться аншліф, робоча поверхня якого накривається тканиною, далі препарат поміщається під прес. Прес акуратно стискається і вдавлює аншліф у пластилін. Далі препарат готовий до використання.



Рис. 2.15. Ручний пресик

**Питання для самоконтролю:**

1. Опишіть порядок операцій при виготовленні аншліфів.
2. Назвіть розходження в технологічних схемах виготовлення прозорих і полірованих шліфів.
3. Охарактеризуйте узагальнено процеси підготовки, шліфування, просочування і полірування заготівлі аншліфа.
4. Навіщо в процесі виготовлення аншліфа застосовується операція зняття технологічних фасок?
5. Яким чином виробляється вирівнювання готових аншліфів?

**2.2.3. Виготовлення аншліфів-брикетів.** Особливість виготовлення аншліфів-брикетів полягає в тому, що вихідний матеріал для готування препарату являє собою дрібні об'єкти від 1,5 см до частин міліметрів, неможливо обробити окремо та уявити у вигляді мікропрепарату, що є зручним для використання. Вихідним матеріалом можуть служити продукти збагачення руди, рудні мінерали розсипних родовищ, здрібнене вугілля, дрібні шматочки руди, породи, з яких неможливо виготовити самостійні препарати.

Суть виготовлення аншліфів-брикетів полягає в імпрегнації об'єктів, що досліджуються, у матрицю, яка може бути представлена у вигляді ряду цементуючих матеріалів (епоксидні смоли, акрилові наповнювачі, полістирол,

термопластик, шелак, каніфоль та ін.). Різні цементуючі матеріали використовуються для різних за своїми властивостями об'єктами дослідження. Так, для міцних порід, руд, що складаються з мінералів високої та середньої твердості, можуть використовуватися різні епоксидні смоли та акрилові наповнювачі, полістирол, термопластик. Для м'яких мінералів, вугілля можуть використовуватися епоксидні наповнювачі підвищеної в'язкості або шелак.

Можна виділити кілька способів одержання аншліфів-брикетів за допомогою цементуючих матеріалів:

- зерна об'єкта, що досліджується, викладаються на дні форми та заливаються цементуючою речовиною;

- у форму вкладають пластину з отворами (металеву або пластикову), у які поміщають зерна об'єкта, що досліджується;

- зерна об'єкта, що досліджується, змішуються із цементуючою речовиною, а потім заливаються у форму.

При використанні першого та другого способів існує можливість розташовувати матеріал у необхідному положенні для одержання необхідної площини зрізу. Третій спосіб використовується в основному, коли матеріал, що досліджується, занадто дрібний і немає можливості розташовувати його у необхідному положенні.

У першому та другому випадку у вигляді цементуючої речовини часто використовується епоксидна смола або полістирол. У третьому випадку – епоксидна смола та шелак.

Велика різноманітність епоксидних, акрилових і полістирольних наповнювачів дозволяє підібрати цементуючу речовину під властивості об'єкта, що досліджується. Приготування наповнювачів проводиться відповідно до пропорцій, що зазначені в інструкціях використання.

Після застигання цементуючої речовини заготовки виймаються з форм і подаються на шліфування або на різання (якщо необхідно забрати зайвий матеріал). Шліфування та подальше полірування робочої поверхні проводиться по тій самій схемі, як при виготовленні прозорих (прозоро-полірованих) шліфів й аншліфів (розділи 2.2.1, 2.2.2). Також проводиться шліфування площадки аншліфа-брикету – площини кріплення препарату до предметного скла.

Шелак найчастіше використовується для виготовлення вугільних аншліфів-брикетів. Попередньо відбираються вугільні частки для препарату (повітряно-сухе вугілля встановленого ступеня подрібнення); готується шелак – подрібнюється до часток розміром менш 1...2 мм для зручного плавлення. Далі шелак і вугільні частки змішуються та нагріваються на електричній пічці в спеціальній сфероподібній посудині. Пропорція змішування зв'язувальної речовини та вугільних часток повинна бути такою, щоб у перетині поперечного зрізу не менш 60 % площі займали вугільні частки. Температура приготування вугільного аншліфа-брикету не повинна перевищувати 100°C. Як тільки шелак починає плавитися, необхідно скатати складові разом до одержання однорідної грузлої маси у вигляді кульки. Далі така кулька із шелаку та вугільних часток поміщається в спеціальну циліндричну форму та підставляється під прес.

Після повного остигання заготовка подається на шліфування та полірування, які проводяться по тій самій схемі, що і для виготовлення шліфів та аншліфів (розділи 2.2.1, 2.2.2). Вирівнювання аншліфів-брикетів проводиться також за допомогою спеціального ручного преса (див. розділ 2.2.2).

Для полегшення деяких операцій виготовлення препарату, а також для одержання якісної продукції необхідно дотримуватися наступних положень.

Перед початком виготовлення аншліфа-брикету частинки об'єкта, що досліджується, необхідно відчистити та висушити. Чищення проводиться дистильованою водою або за допомогою ультразвукової ванни. Просушування часток проводиться до повітряно-сухого стану.

Температура приготування вугільного брикету не повинна становити більше 100°C, тому шелак необхідно попередньо здрібнити для швидкого плавлення.

При шліфуванні абразивним матеріалом зернистістю менш 29 мкм по контуру робочої поверхні заготовки аншліфа-брикету необхідно зняти технологічну фаску.

Після полірування поверхня аншліфа-брикету повинна відповідати наступним вимогам:

- бути плоскою, без рельєфу, без подряпин;
- мати заглиблень;
- не бути чистою, без плям та абразивних матеріалів.

Після завершення операцій виготовлення брикет-аншліф маркірується. Для цього на нього наноситься акрилова біла фарба, на тлі якої тушшю наноситься маркування. Потім воно покривається прозорим лаком.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Які наповнювачі використовуються в процесі виготовлення аншліфів-брикетів?
2. Назвіть основні способи виготовлення аншліфів-брикетів.
3. Укажіть особливості виготовлення аншліфів-брикетів при використанні шелаку як наповнювача.
4. Які основні операції проводять при виготовленні аншліфів-брикетів?

#### **2.2.4. Виготовлення порошкових препаратів (імерсійних препаратів).**

При виготовленні таких препаратів у цілому можливе приготування двох видів імерсійних препаратів:

- препарат без закріплення зерен;
- препарат із закріпленими зернами.

**2.2.4.1. Препарат без закріплення зерен.** Приготування такого препарату досить просте. На предметне скло поміщають краплю імерсійної рідини. Вмочивши в цю краплю кінчик препаративної голки, з її допомогою захоплюють невелику кількість речовини, що досліджується, рівномірно розподіляють в краплі рідини на предметному склі та накривають покривним склом. Досліджувати такий препарат доводиться в більшості випадків на прямо

поставленому мікроскопі, тому що при нахилі столика зерна рухаються в рідині. При визначенні показників заломлення для кожної рідини треба готувати особливий препарат.

Це може бути неможливим або незручним у тих випадках, якщо:

– досліджуваної речовини мало і її не вистачить на кілька препаратів (наприклад, важка фракція піску, отримана іноді в незначних кількостях);

– речовина, що цікавить нас, утримується в досліджуваному порошку в незначній концентрації (у цьому випадку, зробивши другий препарат з даного порошку, ми ризикуємо не знайти в ньому зерен потрібної нам речовини);

– для визначення головних показників переломлення потрібно знайти конкретний розріз (коноскопично). Готуючи для кожної рідини новий препарат, доводиться щораз знову шукати потрібний розріз;

– досліджувана речовина має змінні оптичні властивості й для одержання погоджених даних потрібно вимірювати два показники в одному зерні.

Препаратами без закріплення зерен користуються головним чином для загального знайомства з матеріалом. Для виміру показників заломлення їх використовують у тому випадку, якщо речовина знаходиться в достатній кількості, вона оптично однорідна і розрізи, у яких визначаються потрібні показники переломлення, знаходяться легко. У всіх інших випадках роблять препарати із закріпленими зернами.

**2.2.4.2. Препарат із закріпленими зернами.** Спосіб приготування такого препарату вперше був запропонований О.М. Аншелесом [15]. На предметне скло за допомогою скляної палички поміщають маленьку краплю води. Вологим кінцем голки захоплюють невелику кількість матеріалу, що досліджується, і рівномірно розподіляють його в цій краплі. Потім препарат висушують обережним нагріванням на спиртовій лампі або над електроплиткою, після чого зерна виявляються приклеєними до предметного скла. Якщо є побоювання, що речовина не виносить нагрівання, препарат залишають сохнути протягом 10...15 хвилин на столі (краще поблизу увімкненої електричної лампочки), перевіряючи потім під мікроскопом на відсутність облямівки вологи навколо зерен. Після цього на препарат накладають покривне скло, під яке потім підводять імерсійну рідину.

Для цього за допомогою скляної піпетки переносять краплю рідини із флакона на предметне скло та поміщають біля покривного. Капілярні сили втягнуть рідину під покривне скло. Цю операцію повторюють доти, поки весь простір під покривним склом не виявиться заповненим рідиною. При надлишку рідини покривне скло може легко зміститися, якщо нахилити препарат. Щоб уникнути цього зайву рідину видаляють.

У правильно приготовленому препараті зерна не рухаються, і покривне скло не зміщується при нахилі препарату.

Дрібний матеріал (розмір зерен до 0,03...0,05 мм) приклеюється звичайною водою. Для роботи з більшими зернами можна додати у воду небагато цукру: кілька крупинок на склянку води. Не слід допускати надлишку цукру, при



якому на зернах утвориться найтонша плівка, що сильно затрудняє або робить неможливим спостереження смужки Бекке та ефекту косого освітлення.

Закріплення зерен дозволяє вести всі дослідження з одним препаратом, міняючи в ньому рідини. Спосіб зміни рідини в препараті вперше був застосований та описаний О.М. Аншелесом [15]. Зміна рідин проводиться в такий спосіб. Помістивши потрібне зерно на хрест ниток, ставлять столик мікроскопа горизонтально та піднімають тубус, щоб між об'єктивом і препаратом був просвіт у кілька сантиметрів. Потім обережно підводять до краю покривного скла смужку фільтрувального паперу розміром 0,5...1x5 см, що має рівний край. Папірець тримають лівою рукою і трохи притискають до предметного скла препаратом голкою, що перебуває в правій. Присуваючи папірець до покривного скла, приводять його край у зіткнення з рідиною, яка і витягається із препарату. Нову рідину вводять під покривне скло так само, як попередню, але не знімаючи препарат зі столика мікроскопа. Якщо ці маніпуляції зроблені досить акуратно, обране раніше зерно після зміни рідини продовжує залишатися на хресті ниток.

#### **2.2.4.3. Перетворення петрографічного шліфа в імерсійний препарат.**

Якщо буде потреба, можна виміряти показники заломлення зерна, що зустрічається в петрографічному шліфі. Для цього необхідно попередньо видалити канадський бальзам не тільки зверху та з країв зерна, що досліджується, але й з-під нього, тому що канадський бальзам вступає у взаємодію з більшістю рідин імерсійного набору. Підготовку шліфа до імерсійного дослідження звичайно починають із видалення покривного скла. Останнє легко зрушується убік голкою після нетривалого нагрівання на плитці або спиртовій лампі (нагрівати з боку покривного скла). Після цього ваткою, змоченою в ксилолі (бензолі або метилбензолі), обережно видаляють із оголеної поверхні шліфа більшу частину канадського бальзаму. Для видалення бальзаму з нижньої поверхні шліфа останній занурюють на 20...30 хвилин у ванночку з розчинником. Як розчинник звичайно береться ксилол (Н.Е. Веденєєва [15] рекомендує застосовувати денатурований спирт, змішаний з амілацетатом у відношенні 2:1). Щоб довідатися, чи повністю розчинився канадський бальзам, виймають препарат з ванночки та перевертають предметним склом нагору (це варто робити над аркушем білого паперу, тому що є ймовірність падіння шліфа, що відклеївся, з предметного скла). Після випару розчинника прилягаюча до предметного скла поверхня шліфа, якщо вона звільнена від канадського бальзаму, буде здаватися матовою, а ділянки, що залишилися у канадському бальзамі – блискучими.

Після видалення канадського бальзаму шліф обмивається спиртом (у ванночці або за допомогою піпетки). Якщо предметне скло виявляється недостатньо чистим або має матову поверхню, то шліф (або частина його, яка містить зерно, що досліджується) переноситься на інше предметне скло. Під мікроскопом при малому збільшенні шліф розрізається лезом або розколнується голкою, щоб одержати свіжий злам мінералу, що досліджується, тому що старі злами часто забруднені нерозчинними залишками бальзаму, а на природних

контактах між зернами в гірській породі звичайно сорбована стороння речовина, що перешкоджає точному виміру показників заломлення.

Одержавши свіжу границю потрібного мінералу, змочуємо його краплею води та висушуємо на спиртовій лампі для прикріплення шліфа до скла. Потім шліф накривається маленьким покривним склом, під один із країв якого для створення просвіту підкладається шматочок такого самого скла. Імерсійне дослідження ведеться, як звичайно, шляхом зміни рідин.

**2.2.5. Виготовлення нестандартних мікропрепаратів.** Як було зазначено у розділі 2.1, методика виготовлення нестандартних препаратів трохи відрізняється від методики виготовлення стандартних шліфів, аншліфів й аншліфів-брикетів, однак схема та порядок операцій залишаються незмінними. Виготовлення таких препаратів – трудомістка робота і є скоріш мистецтвом, ніж виробничим процесом. Описати особливості виготовлення всіх нестандартних препаратів неможливо, тому нижче будуть викладені загальні, найбільш часті випадки.

**Препарати з об'єктів нестандартних розмірів.** Такими об'єктами можуть бути, приміром, шлам зі свердловин, що містить агрегати порід, уламки мінералів невеликих розмірів (2...4 мм), уламки породи або руди малих розмірів (5...10 мм). З останніх можливо виготовлення шліфів й аншліфів за допомогою брикетування. Об'єкт, що досліджується, просочується клейкою речовиною, поміщається у форму та заливається цементуючою речовиною (в основному використовується термопластик, полістирол або епоксидна смола). Далі проводяться операції як зі звичайним шліфом, аншліфом-брикетом або аншліфом, що описані в розділах 2.2.1 – 2.2.3. Уламки порід і мінералів зі шламу свердловин можуть також викладатися на дні форми в потрібному напрямку та положенні для одержання необхідного перерізу. Далі акуратно уламки заливаються цементуючою речовиною. Перед цементациєю уламки необхідно просочити клейкою речовиною, для цього можна використовувати «холодне» просочення (вакуумування) або, якщо останнє неможливо, «гаряче» просочення каніфоллю («проварювання»). Операції просочування докладно описані вище (методика виготовлення прозорих шліфів). При просочуванні зразків каніфоллю після їхнього остигання дуже важко буде їх відчистити від залишків каніфолі для подальшого цементування полістиролом або епоксидною смолою. Тому можна вдатися до наступного способу. Наприкінці «проварювання» розплавлену каніфоль разом з об'єктами виливають у форму, що попередньо поміщена на розігріту електричну піч. Далі уламки породи або мінералів акуратно виставляють голкою на дні форми в потрібному положенні, форму акуратно знімають із печі та дають застигти каніфолі. Після повного застигання площина, до якої ближче всього розташовані об'єкти дослідження, шліфується до одержання необхідного зрізу. Залишки каніфолі з іншої сторони заготовки також шліфуються або акуратно відрізаються, щоб не перегріти або не розплавити каніфоль. Робоча поверхня шліфується зі зменшенням зернистості порошку до 6,5 мкм. Далі проводяться стандартні операції виготовлення прозорих шліфів. Слід зазначити, що при приклеюванні робочу

поверхню такої заготовки нагрівати не слід, щоб запобігти плавленню каніфолі та зсуву об'єктів. При шліфуванні варто пам'ятати про підвищену крихкість «провареної» каніфолі.

Бувають випадки, коли необхідно виготовити петрографічний шліф з одного зерна малих розмірів. При виготовленні такого препарату це зерно додають в «баластову» мінеральну масу таких самих розмірів, що цементуються за допомогою каніфолі або епоксидної смоли. Також можливий інший спосіб виготовлення. У гірській породі або мономінеральному агрегаті, що відповідає за твердістю об'єкту дослідження, просвердлюється отвір необхідних розмірів, у який поміщається об'єкт, що досліджується. Далі така заготовка цементується та проходить всі стадії виготовлення шліфа за стандартною методикою.

**Об'єкти вивчення технічної петрографії.** Методика виготовлення препаратів з об'єктів вивчення технічної петрографії практично не відрізняється від стандартної. З вогнетривких матеріалів можуть виготовлятися прозорі та прозоро-поліровані шліфи, аншліфи, при цьому використовується стандартна методика виготовлення препаратів. При виготовленні препаратів із керамічних матеріалів, в'язучих матеріалів і технічних порід скляного виробництва варто пам'ятати про надмірно дрібні розміри компонентів, що складають об'єкти дослідження. Тому при виготовленні прозорих шліфів з перерахованих вище матеріалів необхідно одержати зріз товщиною менш 5...10 мкм. При шліфуванні та доведенні таких препаратів використовуються спеціальні мікроабразивні пасти.

**Об'єкти вивчення медичної петрографії.** Об'єктами вивчення медичної петрографії є в основному кісткові тканини (частини скелету живих організмів), мінеральні відкладення внутрішніх органів живих організмів (камені в нирках, сечовому міхурі, жовчному міхурі). Також для стоматологічного вивчення виготовляються прозорі шліфи із зубів. Методика виготовлення таких препаратів також мало відрізняється від стандартної. Особливістю процесу виробництва є застосування прецизійного різання для одержання точних рівних зрізів і тонких пластин.

**Об'єкти дослідження, що мають незвичайні властивості й інші нестандартні препарати.** До таких об'єктів можна віднести мінерали, що розчиняються у воді (хлориди, сульфати, карбонати), вологоємні мінерали (монтморилоніт), кристали, які тануть при кімнатних температурах (лід), також породи, що містять дуже тверді мінерали (корунд, алмаз).

При виготовленні препаратів з мінералів, що розчиняються у воді, або порід, що містять вологоємні мінерали, варто уникати влучення води на заготовку. Тому при шліфуванні та доведенні воду необхідно замінити на інший матеріал. Найчастіше використовується керосин, спирт або рідкі масла. Промивається заготовка також у керосині або спирті. Породи, що містять вологоємні мінерали, необхідно просочувати каніфоллю («проварювати»), щоб уникнути влучення абразивного мінералу в мікропори породи. Це викликано тим, що керосин має підвищену плинність та втягує частки абразивного матеріалу в мікропори породи при шліфуванні або доведенні.

Інші труднощі пов'язані з виготовленням шліфів порід, що містять особливо тверді мінерали, наприклад алмази. У такому випадку застосовуються спеціальні методи щадного шліфування.

При вивченні орієнтування мінералів для мікроструктурних досліджень гірських порід виготовляються орієнтовані шліфи. Для створення орієнтованого шліфа потрібно, щоб сам зразок, з якого він виготовляється, був відібраний із зазначеним на ньому орієнтуванням, а при подальших операціях це орієнтування не було втрачено.

Шліфи, які є товстіше стандартних, часто використовуються для вивчення включень у мінералах. У таких пластинок поліруються обидві сторони, або ж виготовляється шліф товстіший за стандартний, у якому під мікроскопом вибираються найцікавіші ділянки, вони відклеюються та вивчаються методами термобарогеохімії, мікрозондом.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Назвіть види імерсійних препаратів.
2. Як проводиться готування імерсійних препаратів без закріплення зерен?
3. Як проводиться готування імерсійних препаратів із закріпленням зерен?
4. Як здійснюється перетворення петрографічних шліфів в імерсійні препарати?
5. Назвіть загальні особливості виготовлення нестандартних препаратів.
6. Яким чином препаруються об'єкти дослідження нестандартних розмірів?
7. Назвіть особливості виготовлення шліфів з об'єктів вивчення технологічної та медичної петрографії.
8. Назвіть особливості виробництва шліфів з об'єктів, які мають незвичайні властивості.

### РОЗДІЛ 3. ОПТИКА ВІДБИТОГО СВІТЛА

#### НАВЧАЛЬНІ ЦІЛІ ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ – ВИВЧЕННЯ НАСТУПНОГО МАТЕРІАЛУ:

1. Фізичні основи оптики відбитого світла.
2. Взаємодія світла із прозорим середовищем.
3. Оптично ізотропні та оптично анізотропні мінерали.
4. Взаємодія світла з непрозорим середовищем.
5. Властивості «білого» лінійно поляризованого світла, відбитого від ізотропної поверхні.
6. Властивості «білого» лінійно поляризованого світла, відбитого від анізотропної поверхні.
7. Фізичні основи ефектів двовідбиття та плеохроїзму відбиття.

#### НА ОСНОВІ НАБУТИХ ЗНАНЬ ЧИТАЧ ПОВИНЕН ВМІТИ:

1. Знати основи хвильової та квантової теорії вивчення фізичної природи світла.
2. Вміти охарактеризувати фізичні основи взаємодії світла із прозорим середовищем.
3. Вміти охарактеризувати фізичні основи взаємодії світла з непрозорим середовищем.
4. Пояснювати причини виникнення оптичної анізотропії рудних мінералів.
5. Вміти характеризувати поняття «амплітуда хвилі», «лінійно поляризована хвиля», «площина поляризації».
6. Знати порядок розрахунку коефіцієнта відбиття для монохроматичного лінійно поляризованого світла.
7. Вміти охарактеризувати умови утворення збіжного світла.
8. Знати характеристику понять «ізогіра», «фігури збіжного світла».

### 3.1. Загальні відомості

Світло являє собою одну з форм електромагнітного випромінювання, що випускається матерією, яка перебуває у відповідному збудженому стані (наприклад, вольфрамова нитка лампи випромінює світло в результаті збудження минаючим електричним струмом). Світло та інші форми електромагнітного випромінювання можуть бути описані як за допомогою хвильової теорії, так і за допомогою квантової теорії (корпускулярно-хвильовий дуалізм). Це дає синтетичний підхід до опису світла.

Для більшості питань оптики мікроскопії хвильовий метод опису світла виявляється найбільш підходящим. Однак у конкретному випадку, коли розбираються взаємини між процесом відбиття, з одного боку, і структурою та складом речовини – з іншого, зручно розглядати світло у вигляді часток (фотонів).

Людське око сприймає електромагнітне коливання, що являє собою лише дуже невелику частину повного електромагнітного спектра, який можна розглядати як безперервний ряд від дуже довгих хвиль, характерних для радіохвиль, до дуже коротких хвиль гамма-випромінювання і космічних променів. Як видно з рис. 3.1, добре відомі ділянки інфрачервоних променів, видимого світла, ультрафіолету та рентгенівських променів лежать між цими екстремальними значеннями енергії та довжини хвилі. Точки в цьому електромагнітному спектрі можуть бути охарактеризовані за допомогою різних одиниць енергії та довжини хвилі.

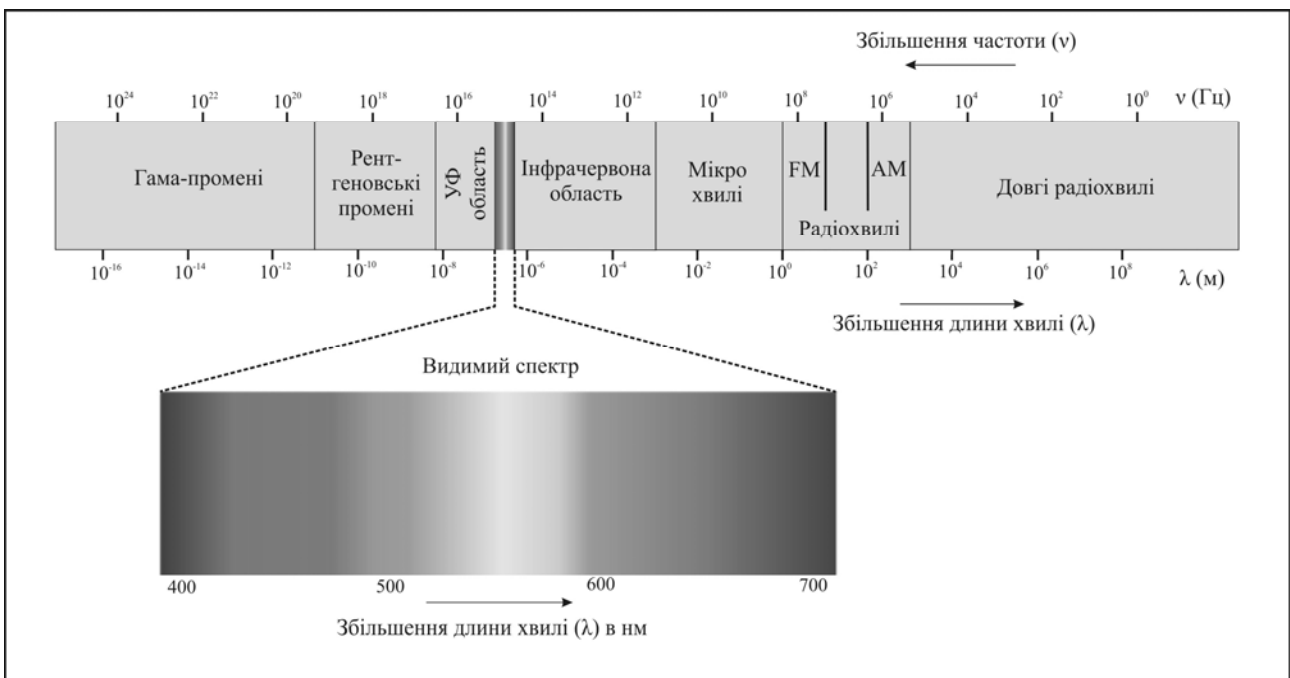


Рис. 3.1. Електромагнітний спектр в ділянці  $10^{-16} - 10^8$  м

Найбільш звичайною одиницею енергії, що застосовується фізиками, є електрон-вольт (eV), у той час як довжини хвиль можуть бути виражені в ангстремах ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$  м) або нанометрах ( $1 \text{ нм} = 10^{-9}$  м =  $10 \text{ \AA}$ ).

У фізичній і хімічній літературі зустрічається й інша одиниця – хвильове число або зворотний сантиметр ( $\text{см}^{-1}$ ), яка на відміну від звичайних хвильових одиниць змінюється лінійно залежно від енергії. Нанометри найчастіше застосовуються в літературі по мінералогії.

Окремі ділянки видимого світла (між 390 та 770 нм) сприймаються оком у вигляді різних кольорів. Ісаак Ньютон виділив сім видів первинного кольору («кольори веселки»). Відповідні до них інтервали довжин хвиль показані на рис. 3.1.

Біле світло від природного або штучного світлового джерела являє собою сполучення вищевказаних інтервалів довжин хвиль.

Світло дуже обмеженого інтервалу, приміром, характерний жовтий колір від лампи з парами натрію, що складається в основному із хвиль довжиною 589,0 та 589,6 нм, називається монохроматичним.

Поширення світла при його описі можна уявити у вигляді хвильового руху, при якому коливання є перпендикулярними до напрямку переміщення енергії. Хвиля, що виникає при цьому типі руху, показана на рис. 3.2 а. Вона має форму синусоїдальної кривої.

Для такої хвилі довжина визначається через формулу:

$$c = v \cdot \lambda$$

де  $c$  – швидкість хвилі,  $v$  – частота хвилі,  $\lambda$  – довжина хвилі.

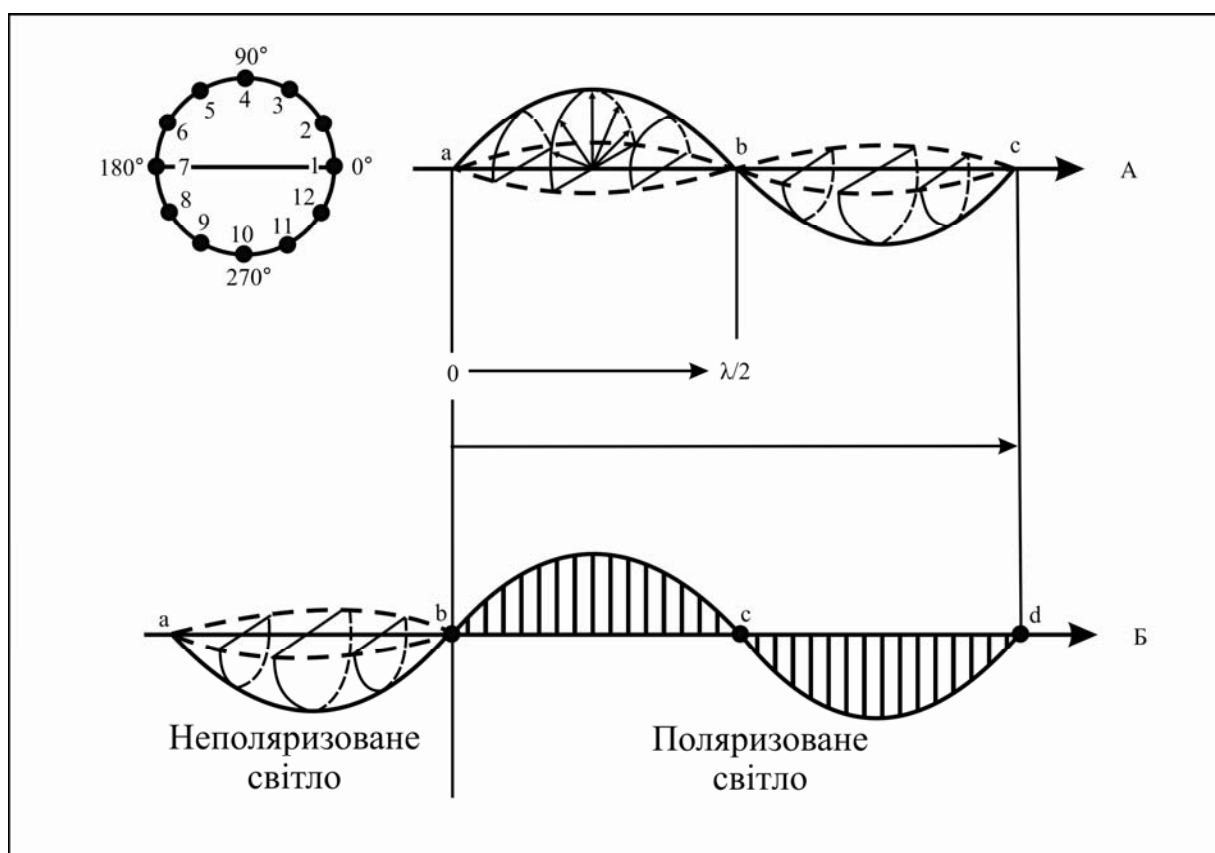


Рис. 3.2. Хвильовий рух: а – неполяризованого світла, коли хвильовий рух відбувається вздовж напрямку поширення світла та нормально до нього; б – неполяризованого світла у зіставленні з лінійно поляризованим [9]

Як показано на рис. 3.2,а, напрямки коливань світлового променя в межах будь-якої площини, перпендикулярної до його шляху, можуть бути зображені у вигляді півкола з радіусом, що дорівнює коливанню хвилі в межах даної площини. Виключення становлять ті місця, які відповідають точкам  $a$ ,  $b$  або  $c$ , де коливання дорівнює нулю.

Одинична хвиля такого типу має спіралеподібний характер руху. Це можна пояснити, якщо розглянути поведінку однієї точки хвилі, яка, поширюючись від  $a$  до  $b$ , змінює свій напрямок коливання відповідно до кругового перерізу, нормального до лінії  $abc$ .

У позиції  $a$  дана точка може розглядатися як розташована в позиції 1 кругового перерізу на рис. 3.2 а. Позиція  $X$  відповідає позиції 2, позиція  $Y$  – позиції 4 тощо. Положення цієї крапки на хвилі називається її фазою.

*Амплітуда хвилі* – це максимальний зсув у процесі коливання (тобто радіус півколового перетину в позиції  $Y$  на рис. 3.2 а.

Колівання світлової хвилі, що показане на рис. 3.2 б, можна обмежити однією площиною, у цьому випадку говорять про *плоскополяризовану хвилю*. Більш правильним є термін «*лінійно поляризована хвиля*», тому, щоб уникнути плутанини, він буде застосовуватися і надалі.

*Площиною поляризації* даного поляризованого світла є така площина, яка є паралельною шляху променя та напрямку коливання.

### Питання для самоконтролю:

1. Яке світло називається монохроматичним?
2. Що таке амплітуда хвилі?
3. Охарактеризуйте поняття «лінійно поляризована» хвиля
4. Що таке «площина поляризації»?

### 3.2. Взаємодія світла із прозорим середовищем

Швидкість світлової хвилі  $c$  або якої-небудь іншої електромагнітної хвилі постійна у вакуумі та становить  $2,99793 \cdot 10^8$  м/с. Вона може змінюватися, якщо хвиля входить в інше прозоре середовище. Зміна, виражена поняттям *показника заломлення* даного середовища, характеризується формулою.

$$n = \frac{c}{c_m}$$

де  $n$  – показник заломлення середовища,  $c$  та  $c_m$  – швидкості світла у вакуумі та середовищі. Оскільки  $c_m$  завжди менше  $c$ , то  $n$  завжди більше 1,0. Для повітря  $n = 1,0003$  ( $\approx 1$ ). Оскільки показник заломлення являє собою відношення двох швидкостей, він виражається безрозмірним числом.

Ті речовини, через які монохроматичне світло проходить із однаковою швидкістю незалежно від напрямку світлового коливання щодо середовища, називаються *оптично ізотропними*.

Вакуум, всі гази, більшість рідин, скло і кубічні (ізометричні) кристалічні речовини відносяться до *ізотропних*. Інші речовини (головним чином не



ізометричні кристали) *оптично анізотропні*, і промені світла можуть проходити крізь них з різними швидкостями залежно від напрямку світлового коливання в даному середовищі.

Для зручності візуального сприйняття характеру зміни оптичних властивостей у середовищах використовуються спеціальні моделі – *оптичні індикатриси*.

*Оптична індикатриса* показує, як змінюється показник заломлення прозорої речовини залежно від напрямку коливання (монохроматичної) світлової хвилі в цьому середовищі.

Якщо уявити нескінченне число векторів, що радіально розходяться в усі сторони від однієї точки усередині речовини, і припустити, що кожен вектор має довжину, що є пропорційною показнику заломлення світла, яке коливається паралельно даному вектору, тоді *індикатрисою* буде поверхня, що стягує кінці цих векторів.

Таким чином, у ізотропної речовини індикатриса являє собою сферу радіуса  $n$  (рис. 3.3,а). Однак необхідно відзначити, що величина  $n$  все-таки змінюється як функція довжини світлової хвилі. У анізотропних кристалів показник заломлення варіює залежно від напрямку в кристалі навіть у випадку монохроматичного світла, тому індикатриса вже не сфера, а еліпсоїд.

Оптична індикатриса кристалічних речовин гексагональної, тетрагональної та тригональної сингоній така, що в неї один поперечний переріз еліпсоїда є круговим, а всі інші – еліптичними. Індикатриса називається *одновісною*, і напрямок, нормальний до цього єдиного кругового перетину, відповідає оптичній осі, що паралельна осі  $c$  кристала. Величина показника заломлення в даному круговому перерізі еліпсоїда (цей напрямок *звичайного коливання* часто позначається символами  $\omega$  або  $o$  ( $n_o$ )) може мати або максимальне, або мінімальне значення, тому індикатриса буває витягнутою або сплющеною, як показано на рис. 3.3,б, в.

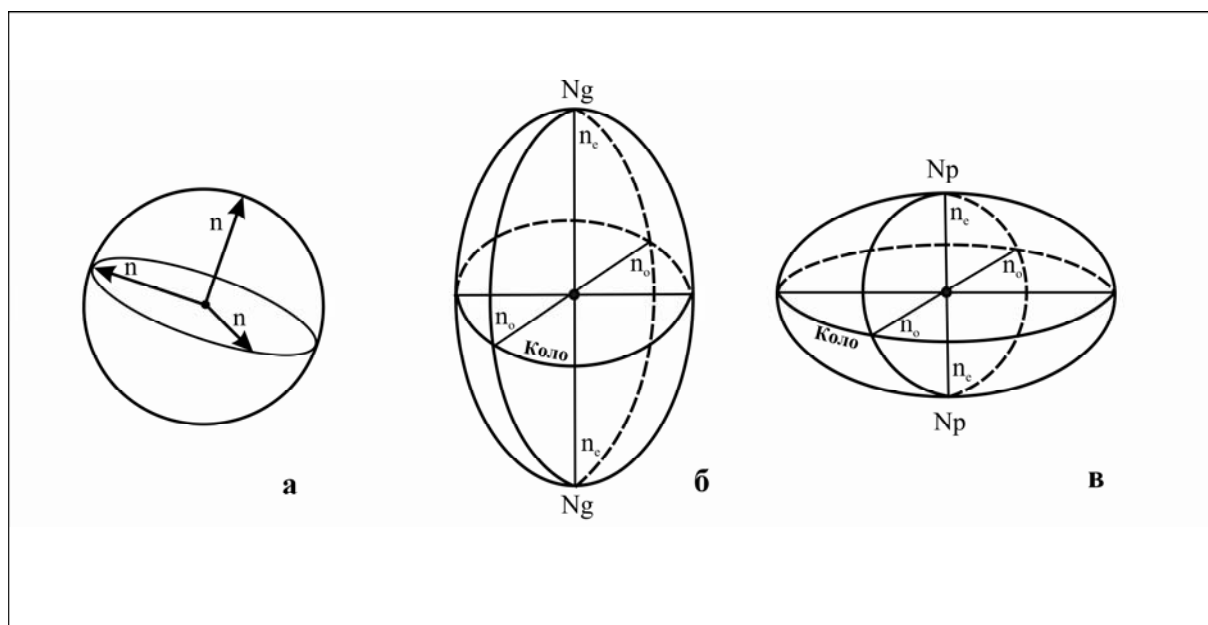


Рис. 3.3. Оптична індикатриса: а – ізотропної речовини; б, в – одновісного позитивного та негативного кристалів [10]

З іншого боку, величина показника заломлення кристала для коливання вздовж оптичної осі (кристалографічної осі  $c$ ), яке зветься *незвичайним коливанням* (або екстраординарним коливанням, що часто позначається  $\epsilon$  або  $e$  ( $n_e$ )), повинна також бути максимальною або мінімальною. Речовини, у яких різниця ( $n_e - n_o$ ) позитивна (витягнута індикатриса), називаються *одновісними позитивними*. При негативній різниці ( $n_e - n_o$ ) (сплюснена індикатриса) речовини по їхньому оптичному знаку відносяться до *одновісних негативних*.

Оптична індикатриса кристалічних речовин ромбічної, моноклінної або триклінної сингоній має два кругових перерізи, а всі інші еліптичні. Два одиничних напрямки, нормальні до цих кругових перерізів, є оптичними осями, тому індикатриса називається двовісною (рис. 3.4,а, б).

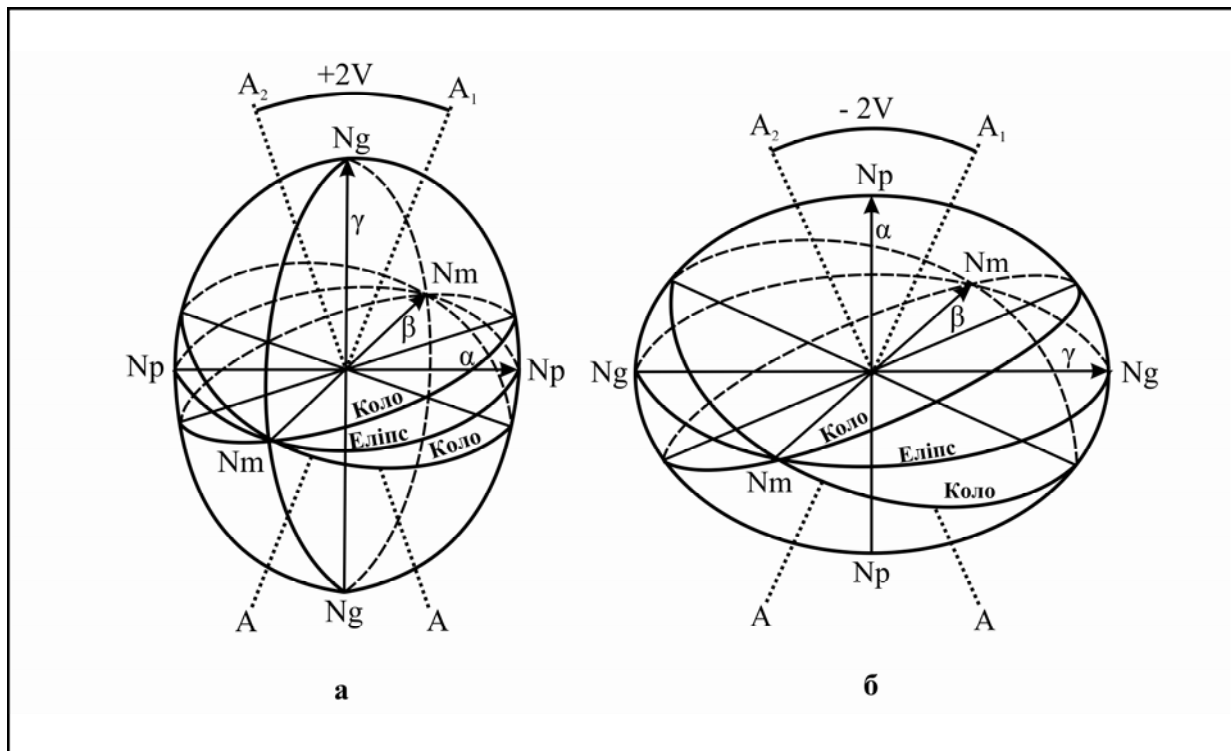


Рис. 3.4. Оптичні індикатриса: а – двовісного позитивного та б – двовісного негативного кристалів [10]

Двовісний кристал має три головні показники заломлення, що звичайно позначаються символами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , з яких  $\alpha$  і  $\gamma$  відповідно найменший і найбільший.

Векторні напрямки, що відповідають показникам заломлення  $\alpha$  і  $\gamma$ , називаються головними осями індикатриса і мають символи  $N_p$  та  $N_g$ , як показано на рис. 3.3,а. Це завжди ортогонально розташовані осі відповідно до максимальної і мінімальної довжини. Головна вісь  $N_m$ , що збігається з векторним напрямком показника заломлення  $\beta$ , також завжди перпендикулярна осям  $N_p$  та  $N_g$ . Однак оскільки величина  $\beta$  є середньою між  $\alpha$  і  $\gamma$ , то повинен бути еквівалентний вектор у секторі між осями  $N_p$  та  $N_g$ , як це видно на рис. 3.3,а. У дійсності між цими двома осями повинна бути ціла серія векторів, що мають довжину  $\beta$  і утворюють круговий перетин індикатриса. Аналіз фігури

показує, що існують два таких кругових перерізи, що перетинаються уздовж осі **Nm** (див. рис. 3.3,б).

Як і в одновісній індикатрисі, нормалі до цих кругових перетинів служать оптичними осями (звідси *двовісність*), які повинні завжди лежати в площині **Ng-Np** (*площина оптичних осей*).

Кут між площинами цих кругових перетинів, а отже, і між оптичними осями, змінюється залежно від відносних значень  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Гострий кут між оптичними осями прийнято називати *кутом оптичних осей* (або  $2V$ ). Коли **Ng**( $\gamma$ ) являє собою гостру бісектрису, то кристал вважається *двовісним позитивним* по оптичному знаку. Якщо ж роль такої бісектриси грає **Np**( $\alpha$ ), то кристал називається *двовісним негативним*. В особливому випадку, коли  $2V = 90^\circ$ , кристал не має оптичного знаку [11]).

Хоча в одновісних кристалах оптична вісь завжди збігається з напрямком кристалографічної осі **c**, у двовісних кристалах співвідношення між орієнтуванням індикатриси і кристалографічними осями не настільки однозначні.

У ромбічних кристалах всі осі індикатриси **Ng**, **Np** і **Nm** (головні напрямки коливань) збігаються із кристалографічними осями **a**, **b** і **c**, однак, хоча і можливі співвідношення **a = Np**, **b = Nm**, **c = Ng**, будь-яка інша комбінація з п'яти (**a = Nm**, **a = Ng** і т.д.) також можлива.

У моноклінних кристалах головна вісь **Np**, **Nm** або **Ng** збігається з єдиною віссю другого порядку, яка звичайно виділяється як вісь **b**. Дві інші головні осі лежать у площині, перпендикулярній до цієї осі другого порядку. Нарешті, у триклінному кристалі жодна з осей **Np**, **Nm** або **Ng** не збігається із кристалографічними осями і збіги можуть бути тільки випадковими.

Важливо відзначити, що коли значення  $2V$  у двовісного негативного кристала наближається до нуля, він отримує індикатрису, що є близькою до індикатриси одновісного негативного кристала. У такий самий спосіб двовісний позитивний кристал наближається до одновісного позитивного, коли кут  $2V$  наближається до нуля. Коли значення  $e$  і  $o$  зближаються, одновісний анізотропний кристал наближається до ізотропного.

В анізотропних речовин різниця між двома екстремальними показниками заломлення ( $e - o$  – в одновісних,  $\gamma - \alpha$  у двовісних) для приватної довжини хвилі є кількісною мірою двозаломлення і називається *величиною двозаломлення*.

### Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте поняття «показник заломлення».
2. Які речовини називаються оптично ізотропними та оптично анізотропними?
3. Що таке оптична індикатриса?
4. Яка індикатриса називається одновісною, яка – двовісною?
5. Охарактеризуйте поняття «кут оптичних осей».
6. Що називається величиною двозаломлення?

### 3.3. Взаємодія світла з непрозорим середовищем

Показник заломлення непрозорої речовини являє собою комплексне число, що визначається в такий спосіб:

$$N = n + ik$$

де  $N$  – комплексний показник заломлення,  $n$  – показник заломлення (або відношення швидкостей світла у двох дотичних середовищах),  $k$  – коефіцієнт абсорбції та  $i$  – комплексне сполучення, що дорівнює  $\sqrt{-1}$  [9].

Так само, як і у випадку із прозорими кристалічними речовинами, взаємодія світла з непрозорими кристалічними тілами залежить від фізичного стану речовини. Під рудним мікроскопом плоско полірована поверхня піддається впливу нормально падаючого світла, певний відсоток якого повертається назад у вигляді дзеркально відбитого компонента. Таке дзеркальне відбиття звичайно оцінюється у відсотках від усього падаючого світла і за умови нормального падіння світлового променя пов'язано з оптичними константами  $n$  і  $k$ , визначається за допомогою формули Френеля:

$$R = \frac{(n - N)^2 + k^2}{(n + N)^2 + k^2}$$

де  $n$  – показник заломлення речовини,  $N$  – показник заломлення середовища (звичайно повітря або імерсійного масла),  $k$  – коефіцієнт абсорбції речовини і  $R$  – відбиття (коли  $R = 1$ , відбиття відповідає 100 %). В умовах повітряного середовища, для якого  $N \approx 1$ , формула Френеля здобуває вигляд:

$$R = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2}$$

З даного рівняння видно, що, коли середовище має показник заломлення вище 1 (наприклад, у води  $N = 1,33$ , показник заломлення імерсійного масла  $N = 1,515$ ), відбиття зменшується в порівнянні з його величиною у повітрі.

Якщо непрозору речовину розтерти в тонкий порошок, то природа його відбивних властивостей зміниться, тому що деяка кількість світла має можливість пройти крізь частку, перш ніж відбитися. Таке дифузійне відбиття аналогічно ефекту риси мінералу і відповідає кольору, що мінерал виявляє, коли світло проходить крізь нього.

#### 3.3.1. Відбиття лінійно поляризованого світла

**3.3.1.1. Монохроматичне лінійно поляризоване світло, відбите від ізотропної поверхні.** Падаючий пучок лінійно поляризованого світла не змінює своєї поляризації при відбитті від зовсім плоскої ізотропної поверхні (чи то прозорого або непрозорого мінералу). Величину відбиття у відсотках ( $R$ , %), що ставиться до оптичних констант, одержують із формули Френеля. Як було зазначено вище, в ізотропних прозорих кристалів є єдиний показник

заломлення  $n$  для будь-якого орієнтування напрямку коливання і що ці кристали характеризуються оптичною індикатрисою сферичної форми (рис. 3.3,а). Однак показник заломлення абсорбуючої речовини  $N$  складається з пари членів, тому його «комплексна індикатриса» не може бути зображена тривимірною поверхнею.

Зміну компонентів – показника заломлення  $n$  і коефіцієнта абсорбції  $k$  – можна зобразити у вигляді функції напрямку коливання в кристалі, і тоді кожна із цих поверхонь показників буде сферою, як показано на рис. 3.5,а. Відбиття також є реальним числом і може бути зображено простою поверхнею, яка в ізотропних речовин буде, звичайно, сферою (рис. 3.5,а).

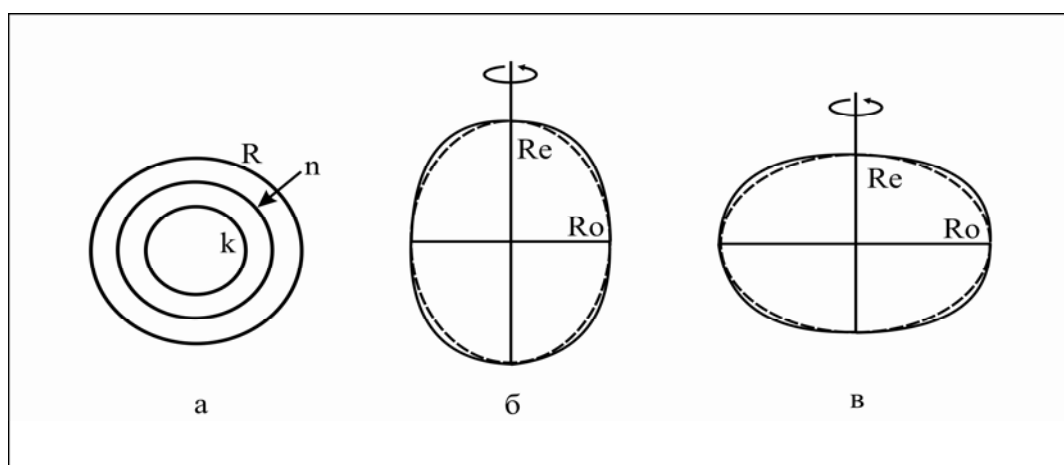


Рис. 3.5. Поверхні показників для непрозорих речовин: а –  $R$ ,  $n$  та  $k$  для ізотропної речовини; б –  $R$ -поверхня тільки для одновісного позитивного кристала; в –  $R$ -поверхню тільки для одновісного негативного кристала. Пунктирні лінії в (б) і (в) показують контур правильного еліпса, побудованого на тих самих осях, що й зображені фігури, являють собою перетини тривісних сфер або еліпсоїдів [9].

Відповідно до цього ізотропні непрозорі мінерали мають тільки одне значення відбиття  $R$  при будь-якому орієнтуванні. Як і у прозорих речовин, всі кубічні (ізометричні) кристали, а також базальні перетини гексагональних (включаючи тригональні) і тетрагональних кристалів ізотропні. Ці співвідношення зручно також виражати за допомогою площин оптичної симетрії. Кожна площина, що проходить через ізометричний кристал (або пряма лінія на полірованій плоскій поверхні цього кристала), являє собою площину (або лінію) оптичної симетрії. Те саме справедливо і для базальних перетинів гексагональних і тетрагональних кристалів. Лінійно поляризоване світло, відбившись від таких поверхонь, залишиться лінійно поляризованим.

**3.3.1.2. Монохроматичне лінійно поляризоване світло, відбите від анізотропної поверхні.** Кристалічні непрозорі речовини гексагональної і тетрагональної сингоній оптично одновісні, також як і прозорі. Однак в абсорбуючих одновісних кристалів поверхні показників для  $n$ ,  $k$  і  $R$  відрізняються за формою від правильного еліпсоїда і більш складні математично (це показано на рис. 3.5,б, в). Проте, зображена фігура має один круговий перетин з одиничним напрямком, нормальним до нього, тобто з

однією оптичною віссю. Так само, як і у прозорих речовинах, напрямом коливань, що є паралельним до цієї осі, називається напрямком *незвичайного коливання (екстраординарного)*, а напрямом коливань у площині кругового перетину – напрямком *звичайного коливання*. Значення відбиття, обмірювані для світла, що коливається паралельно цим напрямкам, відповідно позначаються  $R_e$  і  $R_o$ , і кожне з них або максимальне, або мінімальне.

Як і у прозорих кристалах,  $R_e > R_o$  у витягнутій фігурі, яка характерна для *одновісного позитивного* кристала, а  $R_o > R_e$  у сплюсненій фігурі *одновісного негативного* кристала (рис. 3.5, б, в). Оптична вісь паралельна кристалографічній осі  $c$ , а звичайне коливання і круговий («ізотропне») перетин лежать у базальній площині. Обидві величини  $R_e$  і  $R_o$  можуть бути отримані тільки на призматичному перетині (паралельному  $c$ ), і різниця між ними ( $R_e - R_o$ ) служить *величиною двозаломлення* мінералу.

Коли лінійно поляризоване світло відбивається при нормальному падінні від плоско полірованої поверхні непрозорого одновісного мінералу, цей світловий пучок можна розглядати розщепленими на два взаємно перпендикулярні лінійно поляризовані пучки. Вони відповідають двом лініям оптичної симетрії, які присутні у будь-якому перетині одновісного кристала і аналогічні напрямкам загасання, що спостерігається у прозорих мінералів у тонкому шліфі. При двох положеннях полірованої поверхні, коли на ці напрямки проектується напрямом поляризації падаючого пучка, світло відбивається, не міняючи стану своєї поляризації. Однак у всіх проміжних положеннях, тобто коли столик мікроскопа повернутий вбік від цих унікальних напрямків, компоненти обох коливань будуть додаватися, і якщо є різниця фаз між ними, то результуючий пучок стане еліптично поляризованим.

Існують три головні типи поляризованого світла: *лінійно* (або «*плоско*») *поляризоване*, *еліптично поляризоване* і *циркулярно поляризоване*.

Лінійно поляризоване світло вже було описано вище. Щоб розібратися із двома іншими типами поляризації, необхідно розглянути дві лінійно поляризовані хвилі, що поширюються в одному напрямку і мають площини коливань, які орієнтовані під прямим кутом друг до друга. У результаті цього хвильового руху шляхом додавання двох хвиль виникає єдина хвиля, але природа даної результуючої хвилі буде залежати від співвідношення фаз і амплітуд двох первісних хвиль.

Найпростіший випадок показаний на рис. 3.6, де хвилі мають однакову амплітуду і перебувають «у фазі» (тобто вузли нульової амплітуди коливання, подібні до точок **a**, **b**, **c** на рис. 3.2, точно збігаються). Тут результуюча хвиля, що виникла при інтерференції двох хвиль, залишається *лінійно поляризованою*, а її напрямом поляризації розташовується під кутом  $45^\circ$  до обох первинних хвиль.

Розглянемо випадок, коли дві лінійно поляризовані хвилі розрізняються за фазою. Якщо різниця фаз становить  $90^\circ$ , або, виражаючись інакше, якщо вузли нульового коливання зміщені на  $1/4\lambda$  або на  $3/4\lambda$ ,  $5/4\lambda$ , ...,  $(2n+1)/4\lambda$ , так, що крапка нульового коливання однієї первинної хвилі збігається із крапкою максимального коливання (амплітуди) іншої, то результуюча хвиля буде *циркулярно поляризованою*.

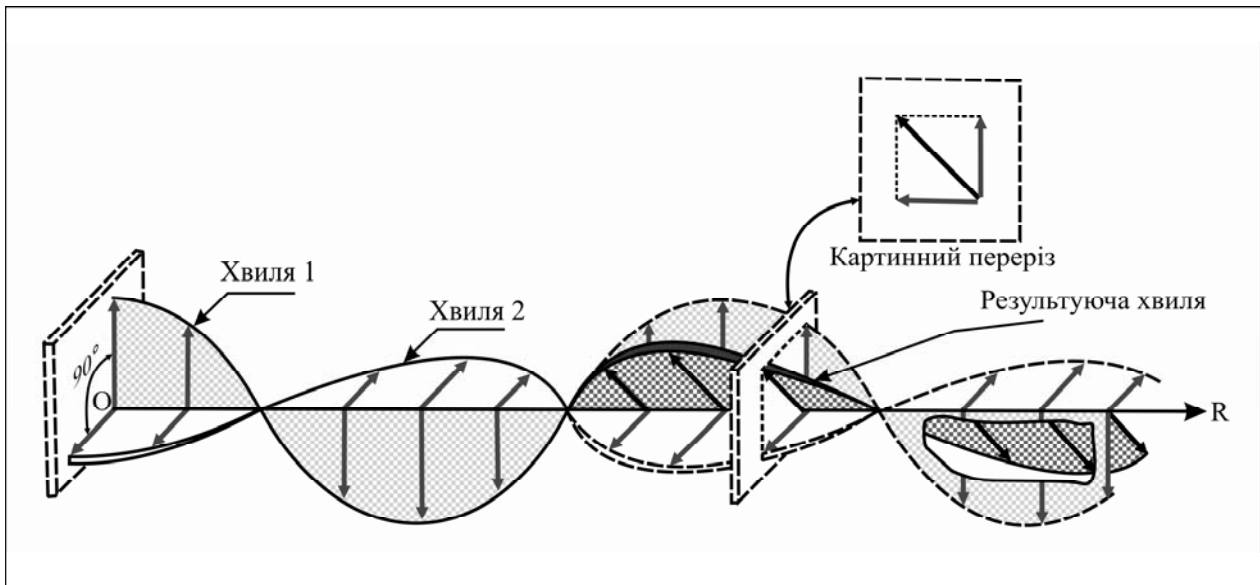


Рис. 3.6. Інтерференція двох лінійно поляризованих хвиль, які перебувають «у фазі» та орієнтовані під прямим кутом одна до одної. Результуюча хвиля залишається також лінійно поляризованою та виникає в результаті додавання векторів двох первинних хвиль, як це показано на картинному перетині [11].

Це показано на рис. 3.7, з якого можна бачити, що вектори результуючих коливань мають постійну довжину, але їхній азимут різний, тому вони переміщуються вперед по спіралі, подібній до нарізки гвинта.

Коли ж різниця фаз не дорівнює  $90^\circ$  (тобто коли вузлові точки обох хвиль зміщені більш ніж на  $[(n+1)/4\lambda]$ , вектори коливань переміщуються вперед по спіралі, але не мають постійної довжини (рис. 3.8). Відповідно в поперечному перерізі виникає *еліптична поляризація*.

Деяка різниця фаз, що відзначалася вище, може виникнути в результаті взаємодії лінійно поляризованого світла з таким матеріалом, як одновісний кристал, оптичні константи якого ( $\mathbf{n}$ ,  $\mathbf{k}$  і  $\mathbf{R}$ ) варіюють залежно від напрямку. Таким чином, еліптична поляризація виникає при положеннях перетину, відмінних від тих, які відповідають орієнтуванню коливань уздовж напрямку оптичної симетрії. В ізотропному кристалі кожен напрямок являє собою напрямок оптичної симетрії, і значення оптичних констант не залежать від орієнтування. Відповідно падаючий лінійно поляризований світловий пучок не змінює своєї поляризації після відбиття.

Непрозорі кристалічні речовини ромбічної, моноклінної або триклінної сингоній, так само як і прозорі тіла, можна називати **двовісними**. Однак розходження між індикатрисою прозорих речовин і поверхнями показників непрозорих набагато більше, чим між двовісними прозорими і непрозорими кристалами. Двовісна індикатриса одержала свою назву у зв'язку з тим, що по двох напрямкам (оптичним осям), нормальним до кругових перетинів індикатриса, лінійно поляризоване світло проходить без якої-небудь зміни характеру поляризації. Це не підходить до двовісних непрозорих кристалів, тому що в них «осі» поверхні показника  $\mathbf{n}$  не збігаються з «віссю» поверхні показника  $\mathbf{k}$ . Тут є сингулярні напрямки, але вони також не збігаються із трьома поверхнями для  $\mathbf{n}$ ,  $\mathbf{k}$  і  $\mathbf{R}$ .

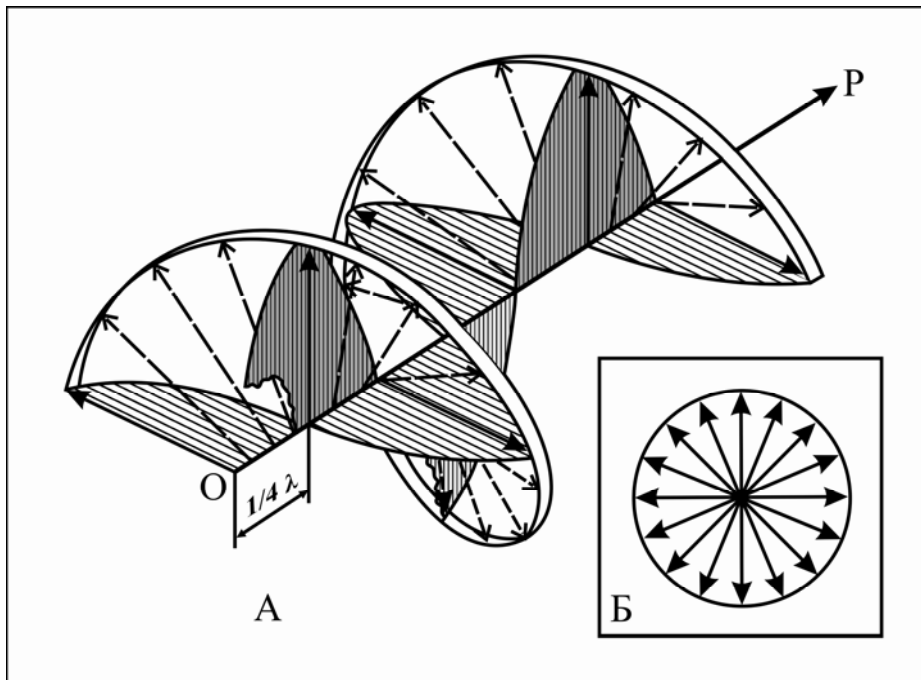


Рис. 3.7. Інтерференція двох взаємно перпендикулярних лінійно поляризованих хвиль, які відрізняються по фазі на  $1/4 \lambda$ . Результуючий хвильовий рух являє собою коливання по спіралі (А) і має в дійсності круговий перетин (Б), тому хвиля виявляється циркулярно поляризованою [11].

У зв'язку із цим відсутні перетини, аналогічні круговим перетинам у прозорих двовісних кристалах. Крім того, у непрозорих кристалах лише деякі плоскі перетини геометрично пов'язані з поверхнями показників. У випадку абсорбуючих двовісних кристалів світло звичайно залишається поляризованим тільки за напрямками коливань, що є паралельними площині оптичної симетрії (або зрізу, нормальному до оптичної осі).

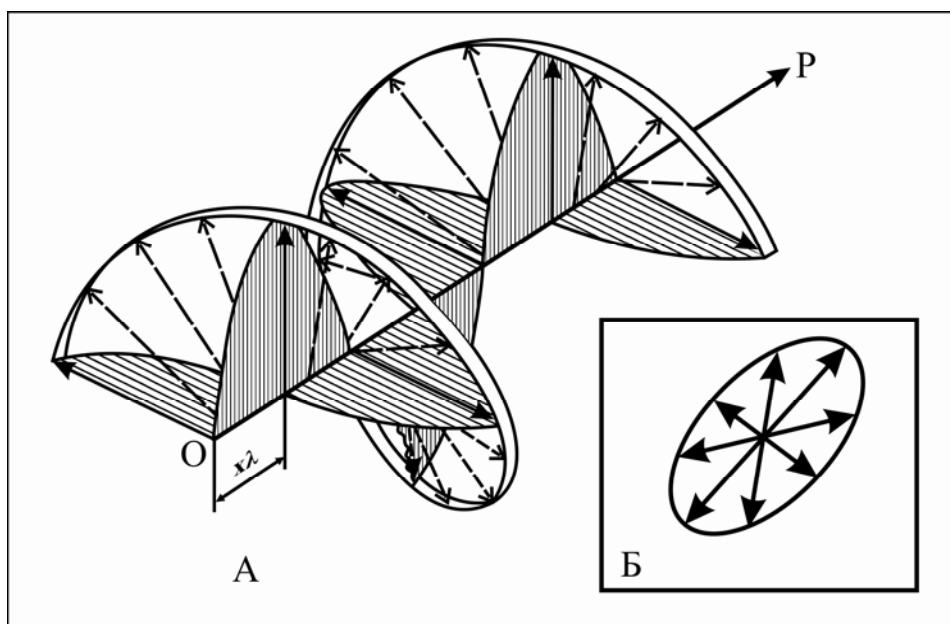


Рис. 3.8. Інтерференція двох взаємно перпендикулярних лінійно поляризованих хвиль, які відрізняються по фазі на  $x\lambda$ . Результуючий хвильовий перетин знову являє собою коливання по спіралі (А), але має еліптичний поперечний переріз (Б), тому хвиля *еліптично поляризована*. [11]



У ромбічного кристала є три значення оптичних констант ( $n_\alpha$ ,  $n_\beta$ ,  $n_\gamma$ ;  $k_\alpha$ ,  $k_\beta$ ,  $k_\gamma$ ) і три значення відбиття ( $R_\alpha$ ,  $R_\beta$ ,  $R_\gamma$ ), що відповідають світлу, яке коливається вздовж напрямків оптичної симетрії  $X$ ,  $Y$  і  $Z$ , які збігаються з тими або іншими кристалографічними осями  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Оскільки у двовісній індикатрисі  $R_\beta$ , яке відповідає осі  $Y$ , являє собою проміжну величину, то двовідбиття визначається різницею між  $R_\alpha$  та  $R_\gamma$ . Для виміру цих величин у ромбічного кристала потрібні спеціально орієнтовані шліфи, тоді обумовлені значення можна позначити як  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ , тому що вони відповідають кристалографічним осям  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . На практиці при роботі з рядовими шліфами одержують звичайно лише мінімальні і максимальні значення, яким дають відповідно символи  $R_1$  і  $R_2$ , оскільки встановлене на початку виміру співвідношення  $R_2 > R_1$  при зміні довжини хвилі світла має змінитися. У цьому випадку двовідбиття буде визначатися різницею між  $R_1$  і  $R_2$ . Хоча у моноклінній сингонії дві величини із трьох ( $R_\alpha$ ,  $R_\beta$ ,  $R_\gamma$ ) і розташовуються в площині симетрії, що є нормальною до подвійної осі (кристалографічної осі  $b$ ), у процесі практичних вимірів одержують лише максимальне і мінімальне значення ( $R_1$  і  $R_2$ ). Те саме відноситься і до триклінних кристалів, у яких не виявляється зв'язок між кристалографічними осями та напрямками оптичних осей.

**3.3.1.3. «Біле» лінійно поляризоване світло, відбите від ізотропної поверхні.** Як було зазначено вище, «біле» світло складається зі сполучення світлових довжин хвиль (або енергій) видимої ділянки електромагнітного спектра. Багато непрозорих речовин нерівномірно відбивають всі довжини хвиль, що утворюють «біле» світло, і викликає явище кольору, що сприймається людським оком або якою-небудь іншою системою, здатною фіксувати інтенсивність відбиття по всій видимій ділянці. Такі вимірювальні системи розглядаються більш повно в розділі 4. Тут же важливо відзначити, що вимір відбиття різноманітних ізотропних і гомогенних кристалічних речовин звичайно дає криві, подібні зображеним на рис. 3.9.

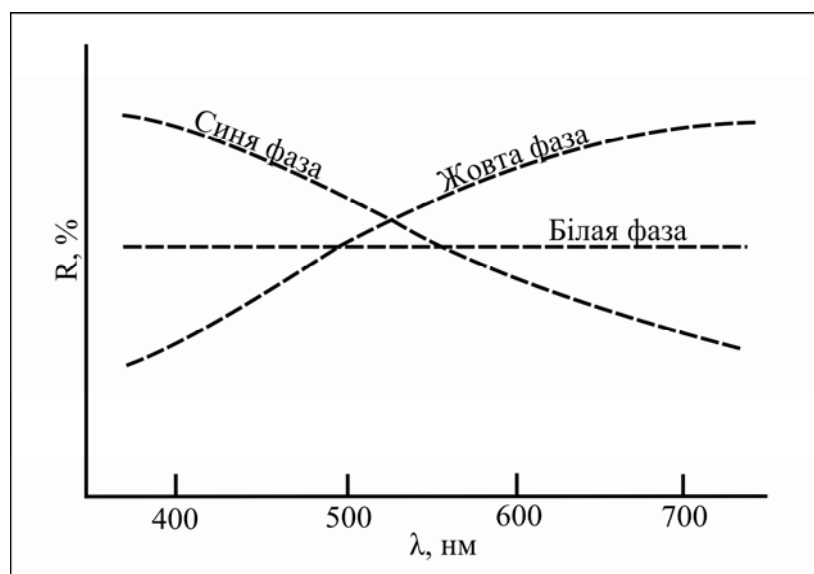


Рис. 3.9. Спектральні криві дисперсії непрозорих речовин різного кольору [11]

Відбиття зовсім білої речовини не залежить від довжини хвилі падаючого світла. Речовини синього кольору будуть відбивати в більшій мірі ті довжини хвиль, які лежать ближче до 400 нм (або синьої області спектра), а відбиття червоних речовин буде обумовлено довжинами хвиль, зрушеними вбік до 700 нм (або червоної області спектра).

Криві, що зображені на рис. 3.9, називаються *спектральними кривими дисперсії*. Вони дають кількісну оцінку кольору речовини і допомагають діагностиці (див. фотометрію). У результаті вимірів отримано багато подібних кривих. Вони показують, що для більшості речовин оптичні константи  $n$  і  $k$  функціонально пов'язані з довжиною світлової хвилі.

**3.3.1.4. «Біле» лінійно поляризоване світло, відбите від анізотропної поверхні.** Як вже було відзначено, в анізотропних речовинах  $n$ ,  $k$  і  $R$  функціонально змінюються зі зміною орієнтації. Отже, в умовах «білого» світла для подібних речовин необхідно розглянути сумарний ефект орієнтації і довжини хвилі. Для одновісних непрозорих мінералів спектральні криві дисперсії можуть бути побудовані для  $R_o$  і  $R_e$ . Різні форми кривих, функціонально пов'язаних з довжиною хвилі (дисперсією), характеризують властивість, яка називається *плеохроїзмом відбиття*. Для двовісних мінералів ті самі дані можуть бути отримані по кривих для  $R_1$  і  $R_2$ .

Варіації  $n$ ,  $k$  і  $R$ , функціонально пов'язані з довжиною хвилі, будуть обумовлені змінами в їхніх поверхнях показників, які також залежать від довжини хвилі. Для ізотропних речовин це зводиться тільки до зміни розмірів сфер (рис. 3.5, а), але для анізотропних кристалів зміни будуть набагато складнішими.

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Опишіть формулу Френеля для повітряного та імерсійного середовища.
2. Коефіцієнт відбиття при монохроматичному лінійно поляризованому світлі, відбитому від ізотропної поверхні.
3. Як виражається величина двовідбиття?
4. Опишіть три головних типи поляризованого світла.
5. Опишіть властивості «Білого» лінійно поляризованого світла, відбитого від ізотропної поверхні.
6. Опишіть властивості «Білого» лінійно поляризованого світла, відбитого від анізотропної поверхні.
7. Що називається плеохроїзмом відбиття?

### **3.3.2. Відбиття при схрещених ніколях**

**3.3.2.1. Монохроматичне лінійно поляризоване світло.** Всі перетини ізотропних речовин, так само як і базальні перетини одновісних кристалів, такі, в яких кожен напрямок коливання пучка лінійно поляризованого світла при нормальному падінні збігається із площиною оптичної симетрії. Тому світло відбивається лінійно поляризованим, без зміни напрямку поляризації. Якщо аналізатор встановлено у положення схрещування  $90^\circ$  щодо поляризатора, то

відбите світло повністю блокується, яке б положення не займав зразок на столику мікроскопа, тобто перетин буде *оптично ізотропним*. Світло може все-таки попадати до спостерігача у вигляді внутрішніх рефлексів або в результаті відбиття від поверхневих подряпин або інших дефектів, але тільки не за рахунок відбиття від рівної полірованої поверхні. Крім того, слабке освітлення, наприклад, при великих збільшеннях, може спостерігатися у зв'язку з незначною еліптичністю, що виникає в тому випадку, якщо падаючий пучок світла не є строго перпендикулярним відносно до поверхні. Інтенсивність цієї освітленості не змінюється при обертанні столика мікроскопа.

Всі перетини одновісних кристалів (крім базального) є перпендикулярними двом площинам оптичної симетрії. Це також відноситься до перетинів типу  $(OkI)$ ,  $(hOI)$  і  $(hkO)$  у ромбічній сингонії і  $(hOI)$  у моноклінній сингонії. У таких *симетричних перетинах* два коливання уздовж обох напрямків лінійно поляризовані. Коли схрещені ніколи збігаються з даними напрямками, що має місце через кожні  $90^\circ$  при обертанні столика, настає згасання (аналогічно прямому згасанню в деяких мінералів у минаючому світлі).

В інших положеннях результуюча хвиля цих двох коливань, які можуть розрізнятися за амплітудою або фазою, або за тим та іншим, не паралельна напрямку коливань в аналізаторі, і перетин не стає повністю темним, тобто буде виявлена *оптична анізотропія*.

У випадку, коли два коливання **розрізняються тільки за амплітудою**, виникає результуюча хвиля, що все ще лінійно поляризована, але розташовується під кутом  $45^\circ$  до первинних хвиль. На рис. 3.10 показано тип анізотропії, що виникає при спостереженні цього ефекту при схрещених ніколях. Коли столик виведено з положення згасання, тобто перетин перебуває в положенні  $45^\circ$  на півшляху між положеннями згасання, результуюче коливання повертається і відбитий промінь зазнає обертання на кут  $\omega$  таким чином, що компонента світла (на малюнку вона показана відрізком  $OT$ ) може пройти через аналізатор до спостерігача. Цей кут обертання може вимірюватись поворотом аналізатора ( $OT \rightarrow OR$ ). Його повертають до відновлення загасання і потім фіксують величину кута обертання. Ясно, що чим більше це обертання, тим більше компонента світла, що пройшла через аналізатор, і тим більше анізотропія, яка спостерігається під мікроскопом.

Коли коливання **розрізняються тільки за фазою**, результуюча світлова хвиля стане еліптично поляризованою, хоча і не зазнає обертання (рис. 3.10,б). Незважаючи на те, що перетин буде знову гаснути кожні  $90^\circ$  в міру обертання столика мікроскопа в схрещених ніколях (оскільки в цих позиціях, що є паралельними площинам оптичної симетрії, світло все ще залишається лінійно поляризованим), деяка кількість світла пройде до спостерігача при проміжних положеннях, у яких світло еліптично поляризоване. У деяких положеннях перетину це світло досягає свого максимуму (але не обов'язково в позиції  $45^\circ$ ). До того ж у даному положенні перетин не можна погасити обертанням аналізатора, тому що еліптично поляризоване світло буде мати компоненту, що може пройти через аналізатор.

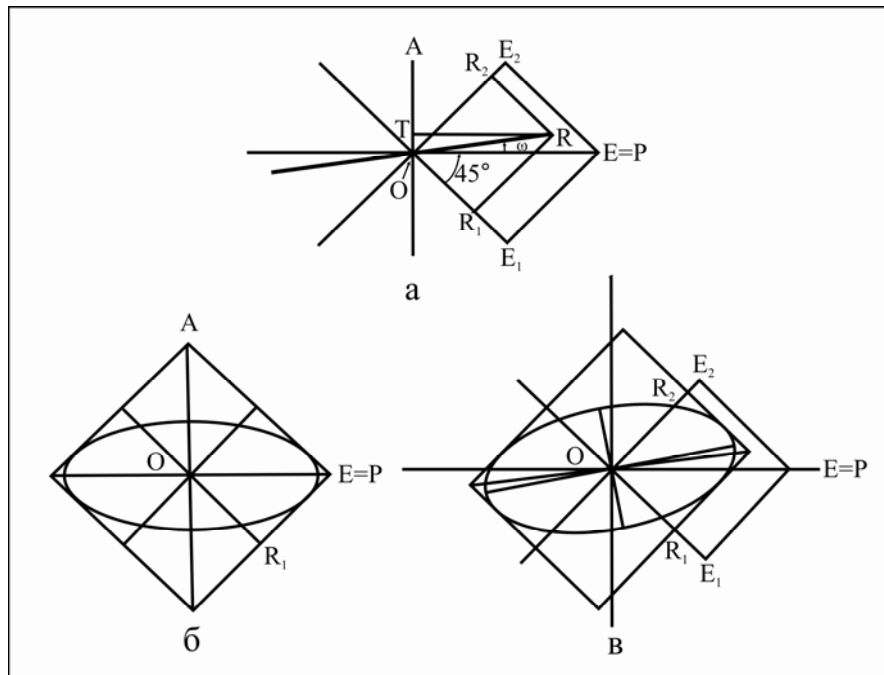


Рис. 3.10. Виникнення ефекту анізотропії при відбитті пучка світла, лінійно поляризованого паралельно поляризатору  $P$  при включеному аналізаторі  $A$ . [11]

а) Коли дві компоненти коливання ( $R_1$ ,  $R_2$ ) розрізняються тільки за амплітудою, результуючий  $R$  лінійно поляризований пучок світла повертається на кут  $\omega$ , при цьому перетин, як показано, перебуває в  $45^\circ$ -ому положенні. Амплітуда, що проходить через аналізатор  $A$ , відповідає відрізку  $OT$ .

б) Коли компоненти коливання ( $R_1$ ,  $R_2$ ) розрізняються за фазою, результуюча хвиля еліптично поляризована, хоча більша вісь еліпса розташована уздовж напрямку коливання падаючого пучка світла (тобто поляризатора  $P$ ).

в) Коли компоненти коливання ( $R_1$ ,  $R_2$ ) розрізняються за фазою і амплітудою, відбитий пучок світла еліптично поляризований, тому більша вісь еліпса повернена ( $OE$  – напрямок коливання падаючого світла;  $OE_1$ ,  $OE_2$  – напрямки коливань компонент падаючого світла).

Коли два коливання, відбиті від симетричного перетину, **розрізняються і за амплітудою, і за фазою**, відбитий пучок світла еліптично поляризований і більша вісь еліпса повернена (у напрямку коливання більшої амплітуди). Ця комбінація зазначених вище двох явищ показана на рис. 3.10,в. Знову перетин буде гаснути через кожні  $90^\circ$  повороту столика мікроскопа за умови строго схрещених ніколей. Однак у положенні  $45^\circ$ , хоча аналізатор і може бути повернутий до збігу з головною віссю еліпса, перетин не згасне, оскільки світло все-таки еліптично поляризоване. Важливо пам'ятати, що були розглянуті виникнення ефектів анізотропії, коли столик мікроскопа повернутий тільки в положення  $45^\circ$ , тоді як ті самі явища мають місце між цим положенням і положенням згасання ( $90^\circ$ ). Оскільки кут обертання або еліптичність коливання зменшуються в міру повороту перетину убік положення згасання поступово, інтенсивність анізотропії також зменшується поступово.

Інші перетини ромбічних і моноклінних кристалів і всі перетини триклінних кристалів (які не мають площин оптичної симетрії) називаються *асиметричними перетинами*. Тут обидва коливання, що виникають при відбитті пучка плоско поляризованого світла, еліптично поляризовані, при цьому більші осі їхніх еліпсів нормальні один до одного. Обертання столика мікроскопа при схрещених

ніколях не приводить до повного згасання в будь-якому положенні, але виникають *чотири мінімуми освітленості* через інтервали в  $90^\circ$ . Ці мінімуми зобов'язані світлу, що в основному обумовлене тільки одним із двох еліптичних коливань. У положеннях  $45^\circ$ , які приблизно відповідають максимумам освітленості, результуючі коливання також еліптично поляризовані, і згасання не може бути досягнуто обертанням аналізатора.

**3.3.2.2. «Біле» лінійно поляризоване світло.** Як ми вже відзначали, у багатьох непрозорих мінералів оптичні константи  $n$ ,  $k$ , а отже і  $R$ , функціонально пов'язані з довжиною хвилі по всій видимій ділянці спектра, тобто мінерали виявляють *спектральну дисперсію* і, отже, окрашені, коли спостерігаються в «білому» світлі. При схрещених ніколях при освітленні білим, лінійно поляризованим світлом ізотропні мінерали або перетини залишаються погашеними, тоді як інші перетини не підкоряються цьому правилу, і світло, що проходить через аналізатор, може бути окрашеним, і так само варіювати за інтенсивністю. Ці «кольори, викликані анізотропним обертанням», можуть бути використані для діагностики деяких мінералів, тому корисно з'ясувати причину їхнього виникнення.

У випадку симетричних перетинів, розглянутих у розділі 3.3.2.1, і наведених на рис. 3.10,а, видно, що, якщо два коливання утворять при відбитті хвилю лінійно поляризованого світла, яка відрізняється за амплітудою, то результуюча хвиля обертається і величина її повороту є функція різниці амплітуд, а, отже, і різниці величин відбиття. Оскільки величини відбиття в таких випадках можуть функціонально змінюватися в залежності і від орієнтування, і від довжини хвилі, то кут обертання у свою чергу може варіювати як функція довжини хвилі, створюючи «дисперсію обертання», отже, і анізотропії. Це показано на рис. 3.11, де величина відбиття  $R_2$  для синього і червоного світла однакове (не диспергує), тоді як значення відбиття  $R_1$  набагато більше для червоного світла (сильна дисперсія).

Це результат більшого обертання результуючого відбитого коливання для синього світла, чим для червоного, тому через аналізатор проходить більше синього світла (отже, під мікроскопом буде спостерігатися синій відтінок анізотропії). Якщо аналізатор повернути проти годинникової стрілки, частково його вимкнути при цьому, то червоного світла пройде більше, ніж синього, тому відтінок анізотропії систематично змінюється (рис. 3.11).

Для симетричних перетинів справедливо також те, що при повороті столика мікроскопа на певний кут за годинниковою стрілкою і проти виникають однакові відтінки. В асиметричних перетинах всі коливання еліптично поляризовані (див. розділ 3.1), але і тут зміна величини відбиття, отже, і амплітуди залежно від орієнтування і довжини хвилі означає, що обертання великої осі еліпса може залежати від довжини хвилі. Інтенсивність світла, що пройшло через аналізатор, знову різна для різних довжин хвиль, що викликає відтінки анізотропії, які знов-таки будуть змінюватися при повороті столика мікроскопа або виводі ніколей із системи. Однак у асиметричного перетину при повороті столика на певний кут за годинниковою стрілкою (і проти) виникаючі відтінки не будуть однаковими.

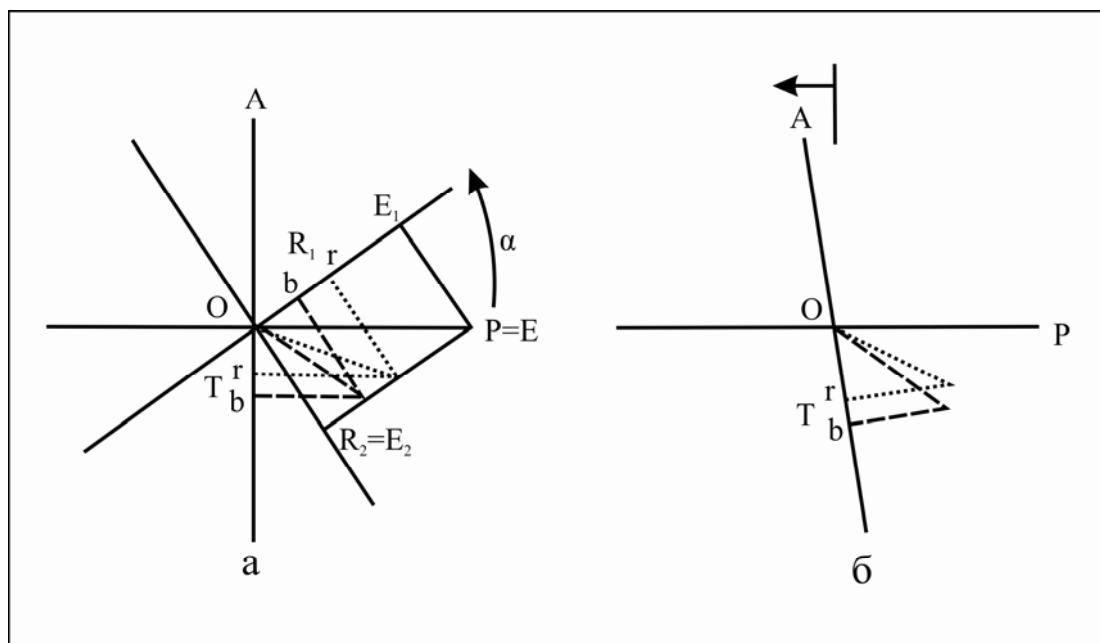


Рис. 3.11. Дисперсія обертання в симетричних перетинах [11]:

а) у положенні, коли перетин повернений на кут  $\alpha$  від напрямку загасання, синє світло  $\mathbf{b}$  обертається більше, ніж червоне  $\mathbf{r}$ , тому в цьому перетині амплітуда коливання  $\mathbf{OT}$ , що пройшла через аналізатор, більше для синього світла;

б) при вимиканні аналізатора кількість червоного світла, що пройшла через нього, збільшується в порівнянні з кількістю синього світла ( $\mathbf{A}$  – аналізатор;  $\mathbf{P}$  – поляризатор;  $\mathbf{OE}$  – напрямок коливання падаючого світла;  $\mathbf{OE}_1$  й  $\mathbf{OE}_2$  – напрямки коливань компонент падаючого світла;  $\mathbf{R}_1$ ,  $\mathbf{R}_2$  – значення відбиття за цими напрямками)

### Питання для самоконтролю:

1. У якому вигляді монохроматичне лінійно поляризоване світло може попадати до спостерігача при схрещених ніколях?
2. Опишіть ефект оптичної анізотропії, коли два коливання розрізняються:
  - а) тільки за амплітудою;
  - б) тільки за фазою;
  - в) і за амплітудою, і за фазою.
3. У яких кристалів перетини називаються асиметричними?
4. Опишіть властивості «білого» лінійно поляризованого світла при схрещених ніколях.

**3.3.3. Збіжне світло.** При роботі з відбитим світлом за мікроскопом у звичайних умовах світло відбивається від поверхні шліфа після нормального або майже нормального падіння і попадає у систему мікроскопа у вигляді паралельних пучків. Якщо ж використовувати об'єктив великої апертури, то в систему мікроскопа ввійде *збіжне світло*, як показано на рис. 3.12. При введеній лінзі Бертрана зображення в задній фокальній площині об'єктива може виявитися у фокусі для спостерігача. При цьому способі спостереження світло, видиме у полі зору, відбивається не при нормальному падінні, за винятком ділянки в центрі поля.

Якщо лінійно поляризоване світло відбивається в такий спосіб від ізотропної поверхні (тобто від кубічного кристала або базального перетину

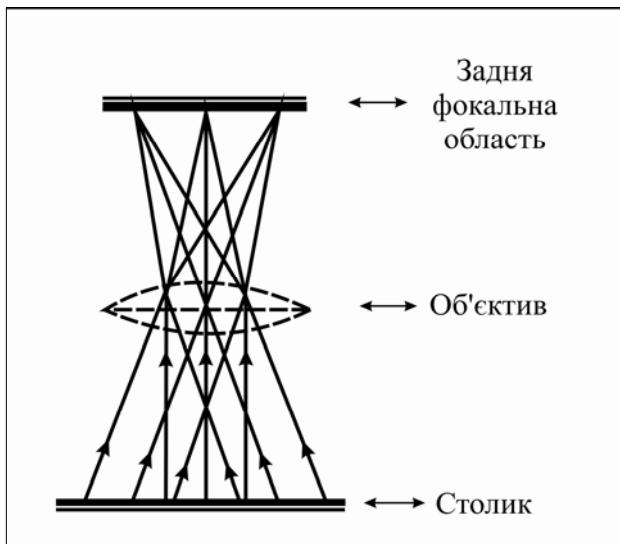


Рис. 3.12. Утворення фігури у збіжному світлі

одновісного кристала), то осторонь від перехрестя ниток похилі кути падіння самі обумовляють лінійно поляризований пучок світла, що зазнає обертання.

Це *обертання відбиття* збільшується в боки від перехрестя (див. рис. 3.13).

Якщо потім схрестити ніколі, то буде спостерігатися чорний хрест (див. рис. 3.14,а), що розташовується вздовж перехрестя ниток, де відбите світло погашене в аналізаторі.

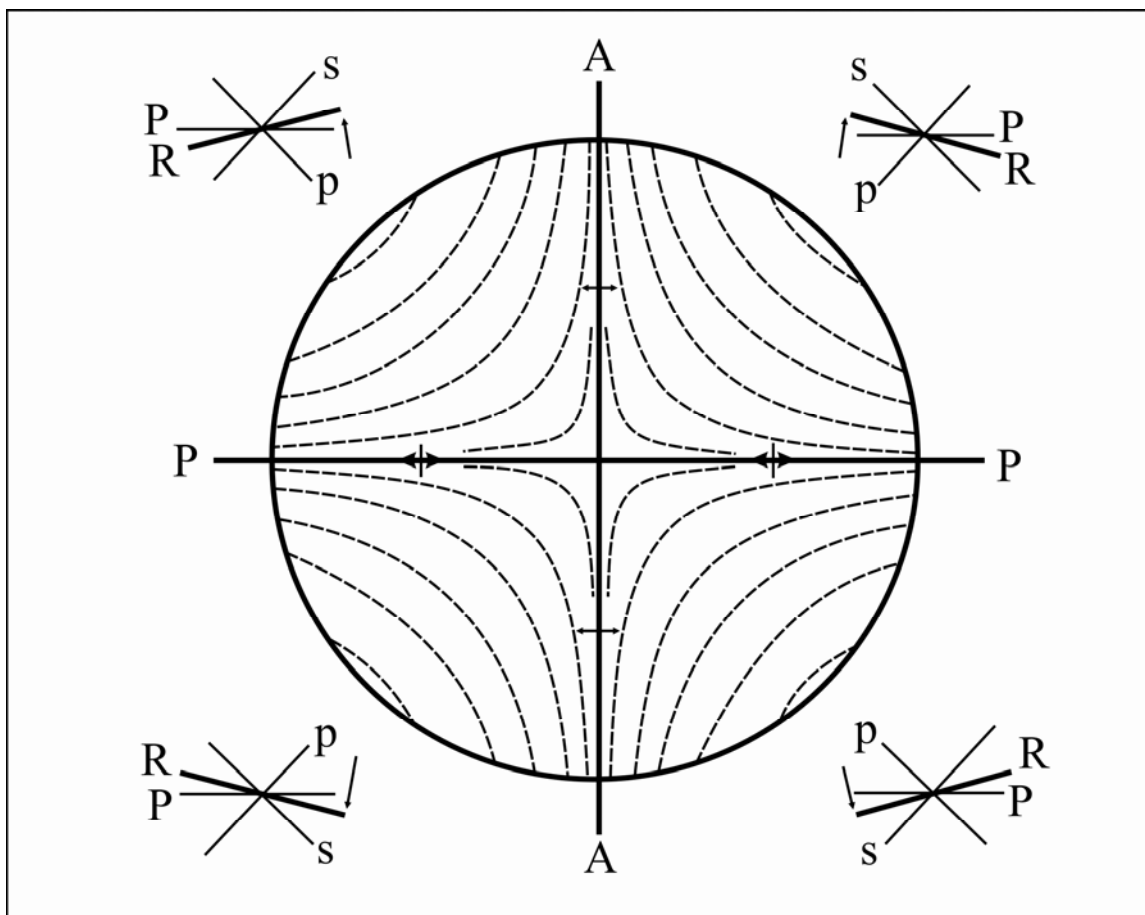


Рис. 3.13. Фігура в збіжному світлі для ізотропної поверхні, показані напрямки коливань для точок на цій фігурі та обертання результуючої ( $R$  для « $p$ » та « $s$ ») щодо поляризатора  $P$  в точках біля фігури ( $A$  – аналізатор) [11]

Інші частини поля зору залишаються освітленими. Чорний хрест, поперечини якого називаються *ізогірами*, при обертанні столика мікроскопа залишається нерухомим (порівнюючи з інтерференційною фігурою одновісного кристала в минаючому світлі, хоча спостережувана в цьому випадку фігура виникає при відбитті від *ізотропного перетину*).

Навіть при нормальному падінні відбиття лінійно поляризованого світла від анізотропного перетину викликає ефекти обертання напрямку коливання падаючого світла (анізотропне обертання) і еліптичну поляризацію, коли перетин не перебуває в положенні згасання. При вивченні анізотропних перетинів у збіжному світлі описане вище обертання відбиття виявляється накладеним на ці ефекти.

Так, якщо анізотропний перетин вивчається при схрещених ніколях у положенні згасання, то спостерігається такий самий чорний хрест, як і в ізотропних перетинів (див. рис. 3.14,а), але при повороті столика мікроскопа ізогіри хреста розходяться і рухаються в протилежні квадранти у вигляді пари ізогір (порівнюючи з фігурою в площині, перпендикулярній гострій бісектрисі, у минаючому світлі (див. рис. 3.14,в).

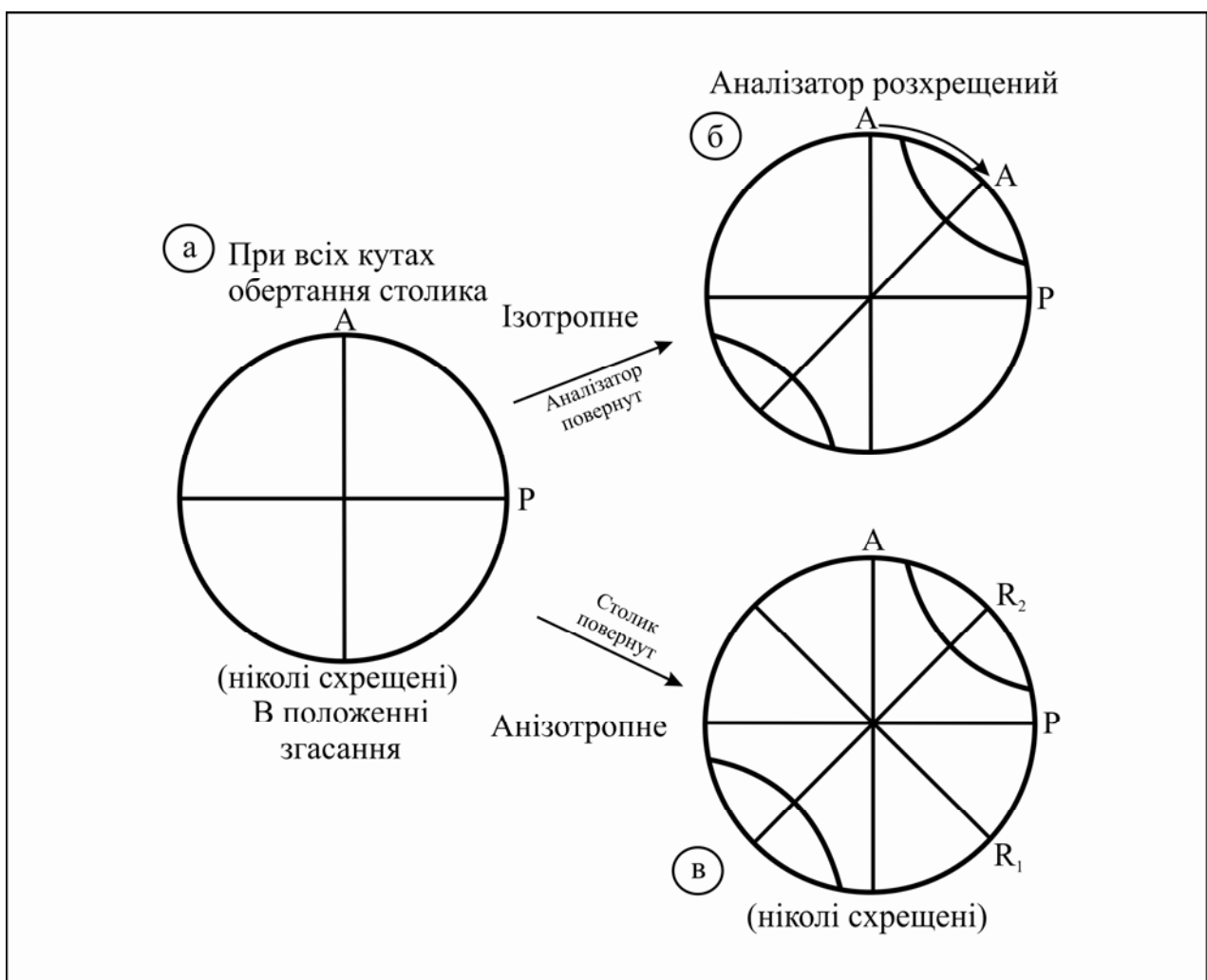


Рис. 3.14. Фігури в збіжному світлі [11]:

а – ізогіри можна побачити при всіх положеннях столика мікроскопа в ізотропних перетинах та у положенні загасання в анізотропних;

б – вплив аналізатора, вимкненого на  $45^\circ$  (перетин поки ще в  $90^\circ$ -градусному положенні) ізотропних перетинів;

в – вплив повороту столика у  $45^\circ$ -градусне положення анізотропного перетину при схрещених ніколях



Розбіжність ізогір, коли столик перебуває в 45-градусному положенні, служить основним показником сили анізотропії в перетині. Пояснення цьому можна знайти, якщо звернутися до 45-градусного положення, що показано на рис. 3.14,в.

Коли напрямок коливання з більшою величиною відбиття  $R_2$  лежить, як це зображено у північно-східному квадранті, анізотропне обертання буде спрямовано в бік  $R_2$  (проти годинникової стрілки), у той час як обертання відбиття (рис. 3.13) відбувається за годинниковою стрілкою. У деяких випадках ці два ефекти компенсують один одного, і такі точки розташовуються на ізогірі. Подібним чином у південно-західному квадранті анізотропне обертання спрямоване проти годинникової стрілки і компенсує обертання відбиття, що іде за годинниковою стрілкою, що породжує ізогіру. Однак у двох квадрантах, що залишилися, обидва ефекти обертання спрямовані проти годинникової стрілки, внаслідок цього компенсація відсутня (ізогір немає).

Хоча між описаними ефектами та інтерференційними фігурами, що спостерігаються в минаючому світлі, є подібність. В першому випадку маємо справу з поверхневими явищами, при яких не виникає різниці ходу в речовині, а, отже, і немає інтерференції. Ці фігури правильніше називати *фігурами збіжного світла*.

Обсяг інформації, яку можна одержати по даних фігурах, також досить обмежений. Немає можливості з їхньою допомогою провести розходження між ізотропним кристалом і базальним перетином одновісного кристала або між небазальним перетином і головним перетином двовісного кристала. Фігури збіжного світла можна використати для встановлення перетину на згасання або для визначення напрямку коливання з більшою величиною відбиття ( $R_2$  на рис. 3.14,в) в анізотропному перетині, хоча і те, і інше можна зробити, не прибігаючи до такого методу.

Фігури збіжного світла корисні також при вивченні дисперсійних ефектів. Ізотропні перетини в збіжному «білому» світлі можуть виявляти дисперсію обертання відбиття (тобто, коли ступінь обертання змінюється залежно від довжини хвилі). Про неї судять за кольором у квадрантах поблизу краю поля зору. Червоні ділянки вказують на те, що обертання більше в червоного світла, чим у синього. При синьому кольорі співвідношення зворотні. Це спостерігається тільки при сильній дисперсії.

Слабку дисперсію можна вивчати, коли аналізатор частково вимкнено. Тоді ізогіри розходяться і по їхніх обох боках спостерігаються кольорові облямівки (рис. 3.14,б і 3.15). У випадку, показаному на рис. 3.15, опукла сторона ізогір розкрашена в червоний колір, а ввігнута – у синій, і дисперсія обертання відбиття характеризується тим, що синє світло зазнає більше обертання.

Це означає, що спектральний профіль дисперсії даної фази показує більш високі значення  $R(\%)$  у червоному кінці спектра. Фаза, що характеризується спектральною кривою дисперсії з більшими значеннями  $R(\%)$  у синьому кінці спектра, буде мати червоні облямівки на ввігнутій стороні ізогіри.

Дисперсія обертання відбиття в анізотропних перетинах може вивчатися точно в такий самий спосіб, коли перетин перебуває в положенні загасання (ізогіри мають форму хреста) і аналізатор вимкнено. Коли ж анізотропний перетин досліджується в 45-градусному положенні (дві ізогіри при схрещених ніколях), ефекти, що спостерігаються, обумовлені комбінацією дисперсії обертання відбиття і дисперсії, викликаною анізотропією. У ряді випадків можна зробити певні висновки про внесок анізотропного обертання, а також провести спостереження над загальною дисперсією (тобто слабка вона чи сильна).

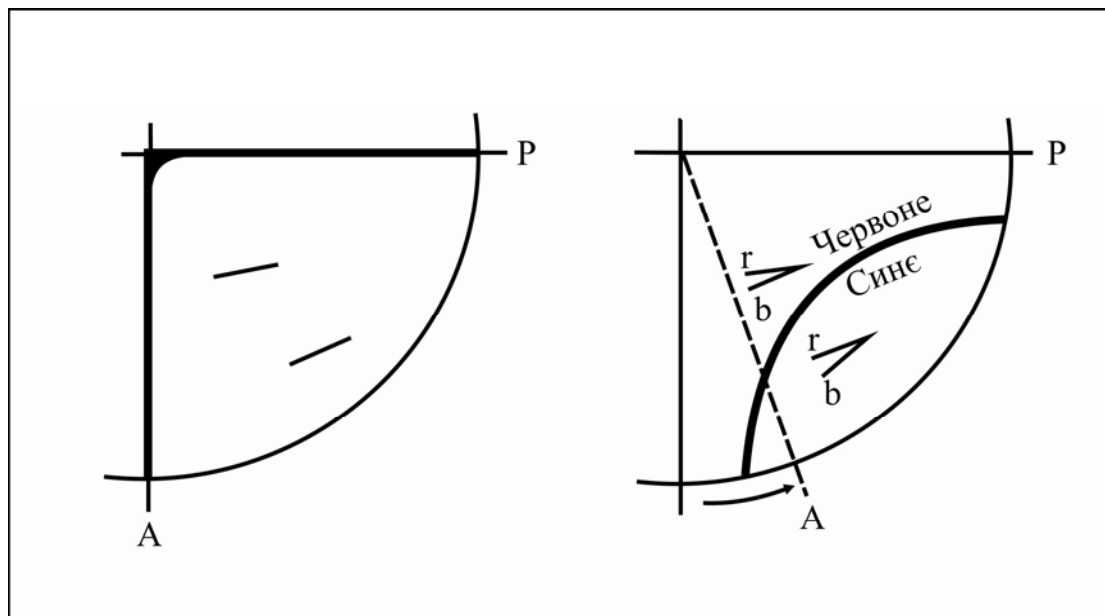


Рис. 3.15. Один квадрант поля зору в збіжному «білому» світлі для ізотропного перетину. Показано вплив схрещеного аналізатора (поверненого з положення  $A$  в положення  $A_1$ ) на утворення двох ізогир з кольоровими облямівками [11]. Лінії, позначені буквами  $r$  та  $b$ , показують обертання червоного та синього світла ( $P$  – орієнтування поляризатора)

### Питання для самоконтролю:

1. Опишіть умови утворення збіжного світла.
2. Що характеризується поняттям «ізогіра»?
3. Особливості вивчення анізотропних перетинів при схрещених ніколях.
4. На що вказує розбіжність ізогир, коли столик перебуває в 45-градусному положенні?
5. Вивчення дисперсійних ефектів в умовах збіжного світла.

## РОЗДІЛ 4. ДІАГНОСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РУДНИХ МІНЕРАЛІВ

### НАВЧАЛЬНІ ЦІЛІ ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ – ВИВЧЕННЯ НАСТУПНОГО МАТЕРІАЛУ:

1. Діагностичні ознаки рудних мінералів.
2. Відбивна здатність рудних мінералів. Коефіцієнт відбиття та методи його визначення.
3. Умови спостереження ефекту відбиття рудних мінералів.
4. Фактори, які впливають на сприйняття відбивної здатності рудних мінералів.
5. Кількісні методи визначення відбивної здатності рудних мінералів.
6. Дисперсія відбивної здатності рудних мінералів.
7. Умови спостереження кольору рудних мінералів у відбитому світлі.
8. Двовідбиття та плеохроїзм відбиття рудних мінералів.
9. Фактори, які впливають на сприйняття ефекту двовідбиття?
10. Анізотропія рудних мінералів та умови її спостереження. Ізотропні та анізотропні рудні мінерали.
11. Внутрішні рефлекси рудних мінералів та методи їх вивчення.
12. Мікротвердість рудних мінералів. Кількісні та якісні методи визначення мікротвердості.
13. Магнітність рудних мінералів та методи її визначення.
14. Структурні та морфологічні властивості рудних мінералів.
15. Мікрохімічні методи досліджень.

### НА ОСНОВІ НАБУТИХ ЗНАНЬ ЧИТАЧ ПОВИНЕН ВМІТИ:

1. Знати методи визначення відбивної здатності рудних мінералів, порядок налаштування мікроскопа та мінерали-еталони відбивної здатності.
2. Вміти охарактеризувати умови спостереження кольору рудних мінералів, знати від яких факторів залежить сприйняття кольору.
3. Вміти охарактеризувати умови спостереження анізотропії мінералів.
4. Освоїти методику визначення двовідбиття рудних мінералів.
5. На прикладах конкретних мінералів вміти пояснювати варіанти прояву ефектів анізотропії, двовідбиття, плеохроїзму відбиття.
6. Вміти визначати внутрішні рефлекси рудних мінералів.
7. Знати основні мінерали-еталони внутрішніх рефлексів.
8. Освоїти методи визначення відносної мікротвердості рудних мінералів.
9. Освоїти методику кількісного визначення мікротвердості рудних мінералів.
10. Вміти визначати структурно-морфологічні властивості рудних мінералів.
11. Освоїти методику визначення ознак рудних мінералів в імерсії та методику мікрохімічних досліджень.

Дослідження рудних мінералів під мікроскопом проводяться:

- 1) з одним поляризатором (у лінійно або «пласко поляризованому» світлі);
- 2) з поляризатором та аналізатором (тобто в «схрещених ніколях», коли аналізатор орієнтований щодо поляризатора під кутом  $90^\circ$ ). Спостереження проводяться із застосуванням сухих або імерсійних об'єтивів.

При вивченні рудних мінералів під мікроскопом основним об'єктом досліджень є руда у вигляді дзеркально-полірованого аншліфа. При петрографічних дослідженнях об'єктом вивчення є гірська порода у вигляді тонкого прозорого шліфа.

Визначення рудних мінералів проводиться за допомогою наступних основних діагностичних ознак:

#### ***I. Фізичні ознаки:***

1. Відбивна здатність, двовідбиття, плеохроїзм відбиття.
2. Колір.
3. Анізотропія.
4. Внутрішні рефлекси.
5. Твердість.
6. Магнітність.
7. Електропровідність.

#### ***II. Структурні та морфологічні властивості:***

10. Форма кристалів і габітус.
11. Спайність та окремість.
12. Двійникування.

#### ***III. Хімічні ознаки:***

13. Діагностичне травлення.
14. Мікрохімічні дослідження.

#### ***IV. Фазові рівноваги та мінеральні асоціації***

Колір, відбиття, двовідбиття та плеохроїзм відбиття вивчаються в лінійно («пласко» поляризованому) світлі, анізотропія, обертальні властивості та внутрішні рефлекси рудних мінералів – при схрещених ніколях.

### **4.1. Відбивна здатність рудних мінералів**

*Відбиття* – властивість полірованої поверхні мінералу відбивати певну кількість падаючого на нього світла. Рудні непрозорі мінерали сильно відбивають світло, тому виглядають у полірованому шліфі світлими, яскравими. Нерудні мінерали слабо відбивають світло і виглядають у відбитому світлі сірими, темно-сірими.

*Яскравість* рудних мінералів у полірованому шліфі неоднакова. Найбільш яскравими, блискучими виглядають самородні метали, арсеніди, антимоніди, телуриди з відбивною здатністю (R) більше 60%; менш яскравими, але дуже світлими – сульфідні з  $R = 30...60\%$ ; ясно-сірими та сірими – окисли з  $R = 10...30\%$ ; темно-сірими – нерудні мінерали (силікати, окисли, карбонати, сульфати), у яких дуже низьке відбиття (у кварцу  $R = 4\%$ ).

*Відбивна здатність (R) – це міра «яскравості» рудних мінералів. У числовому виразі вона є відношенням інтенсивності відбитого мінералом світла до інтенсивності падаючого світла, що виражена у відсотках. Відбивна здатність мінералу змінюється залежно від його орієнтування, довжини хвилі відбитого світла та кута падіння світла.*

Величина відбивної здатності, тобто показник відбиття, визначається за формулою:

$$R = \frac{(I_r)}{(I_o)} \cdot 100\%$$

де  $I_r$  – інтенсивність світла, відбитого мінералом;  $I_o$  – інтенсивність світла, що падає на мінерал.

Для ізотропних прозорих мінералів величина R може бути обчислена за формулою Френеля:

$$R = \frac{(n - N)^2}{(n + N)^2}$$

де  $n$  – показник заломлення речовини,  $N$  – показник заломлення середовища (звичайно повітря або імерсійного масла).

В умовах повітряного середовища, для якої  $N \approx 1$ :

$$R = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2}$$

Для ізотропних абсорбуючих (поглинаючих) мінералів у повітрі застосовується формула Бера:

$$R = \frac{(n - 1)^2 + k^2}{(n + 1)^2 + k^2}$$

де  $k$  – показник поглинання мінералу (коефіцієнт абсорбції).

Таким чином, показник відбиття R залежить від показників переломлення мінералу та середовища (повітря або імерсійного масла) між мінералом і фронтальною лінзою об'єктива, а також від показника поглинання мінералу.

При мікроскопічному вивченні рудних мінералів можна візуально розташувати мінерали аншліфа в порядку зростання відбивної здатності. Так, якщо в аншліфі є один або два мінерали, які діагностуються, відбиття яких легко встановити (наприклад, пірит з відбиттям 53 % і магнетит з відбиттям 20 %), то, маючи навіть незначний досвід діагностики рудних мінералів, можна оцінити відбиття «невдомих» мінералів, порівнюючи їх з «мінералами-еталонами». Найпоширеніші помилки при оцінці відбиття обумовлені наступними причинами. Мінерали, недостатньо якісно відполіровані, будуть здаватися менш відбиваючими, ніж добре відполіровані, незважаючи на значення коефіцієнтів відбиття, що дорівнюють. Колір рудних мінералів також є іноді ускладнюючим фактором.

Для усунення впливу кольору варто використати червоний, зелений або жовтий світлофільтри. *Рекомендуються наступна послідовність вивчення і умови спостереження відбивної здатності рудних мінералів:*

1. Вивчення відбиття рудних мінералів проводиться в повітрі, з об'єктивом  $10^X$  із синім фільтром денного світла. При вивченні кольорових мінералів (золото, пірит, халькопірит та ін.) необхідно використовувати червоний світлофільтр, що усуває вплив забарвлення мінералів і дозволяє зосередитися на інтенсивності яскравості.

2. Для концентрації уваги на зоні контакту порівнюваних зерен варто прикривати діафрагму поля зору.

3. Якість полірування повинно бути високим.

4. При постійному положенні реостата трансформатора (однакової інтенсивності освітлення) рекомендується вивчити мінерали еталонної колекції в порядку зростання відбивної здатності: кварц – 4 %, хромшпінелід – 14 %, сфалерит – 17 %, гематит – 25 %, тетраедрит – 29 %, галеніт – 43 %, халькопірит – 47 %, пірит – 53 %, золото – 84 %, мідь – 90 %, срібло – 95 % (див. додаток 1, рис. 1, 2).

5. При вивченні аншліфів варто оцінювати вплив на сприйняття відбивної здатності наступних факторів: освітлення різної яскравості, наявності синього та червоного фільтрів, ступеня збільшення, кольору навколишніх мінералів.

Більш точно відбивна здатність може бути виміряна за допомогою спеціальних приладів.

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Що таке відбивна здатність рудних мінералів?
2. Від яких факторів залежить сприйняття відбивної здатності?
3. З якою метою використовуються червоний, жовтогарячий і жовтий світлофільтри при вивченні відбивної здатності?
4. Чим обумовлена різниця сприйняття відбивної здатності того самого мінералу в різних аншліфах?
5. Перелічить умови спостереження відбивної здатності рудних мінералів.

**4.1.1. Кількісні визначення відбивної здатності мінералів у відбитому світлі.** Основні різновиди непрозорих мінералів часто швидко визначаються в препаратах за характерним для них кольором і величині відбиття, за морфологічними особливостями (у сукупності з певним парагенезисом головних мінералів). Однак, коли мова заходить про розрізнення рудних мінералів, які мають близькі колірні відтінки, а їхні коефіцієнти відбиття відмінні на 1...2 %, або визначення ефекту анізотропії, точна діагностика за допомогою такого оптичного «приладу», як людське око, стає неможливою. У таких випадках прибігають до методів кількісного виміру відбивної здатності мінералів у відбитому світлі.

Прилади, що використовуються у кількісних вимірах, називаються фотометрами. Якщо як приймач використовується око, фотометри називаються візуальними, або зоровими, якщо ж застосовується який-небудь фізичний приймач, фотометри називаються фізичними.

Оптичний блок фотометра, який іноді називається фотометричною голівкою, що містить лінзи, пластинки світлорозсіювання, зменшувачі світла, світлофільтри, діафрагми та приймач випромінювання.

Найчастіше у фотометрах з фізичними приймачами потік випромінювання перетворюється в електричний сигнал, що реєструється пристроями типу мікроамперметра, вольтметра тощо (електрофотометри). В імпульсних фотометрах застосовують пристрої реєстру типу електрометра, запам'ятовуючого осцилографа, пікового вольтметра.

У візуальному фотометрі рівність яскравості двох полів порівняння, освітлюваних окремо порівняльними світловими потоками, встановлюється оком, що розташовується біля окуляра фотометричної голівки. Нижче методи кількісного виміру відбиття будуть розглянуті більш докладно.

**4.1.1.1. Методи виміру відбиття.** Існує два основних види вимірів – *прямий* та *метод порівняння*. У першому дотримання стандартів не потрібно, у другому необхідно використання точно відкаліброваних еталонів.

**Прямий вимір.** Прямий вимір проводиться в такий спосіб:

- зразок поміщається на осі спектрометра;
- стабілізований пучок променів проходить через коліматор та уловлюється фотометром (рис. 4.3);
- потім зразок встановлюється таким чином, щоб він відбивав пучок при великому куті падіння, і вимірюється відбитий промінь тим самим фотометром (рис. 4.3);
- проходять кілька вимірів при більших кутах падіння, що дозволить екстраполювати значення при  $90^\circ$ .

Існують різні типи апаратури для прямих вимірів, однак, при цьому велике значення має кут прийому фотоелементом світлового пучка. Такий тип вимірів використовують для калібрування еталонів, які застосовують потім при порівняльному методі вимірів.

**Порівняльні методи виміру.** При порівняльних вимірах значення, отримане для зразка, порівнюють зі значенням, отриманим у тих самих умовах для еталона, попередньо відкаліброваного прямим методом. В установці одночасного порівняння пучок, відбитий від зразка, порівнюється з пучком, одночасно відбитим від стандарту. Однак такі установки одночасного порівняння дуже складні.

В установках послідовного порівняння спочатку вимірюють пучок, відбитий зразком, а потім пучок, відбитий стандартом у тих же умовах. При зіставленні цих двох значень одержують значення відбиття зразка. В установках послідовного порівняння можуть використовуватись два методи: *метод еталонного пучка* та *метод одного пучка*.

**Метод еталонного пучка.** У цьому методі використовують стабілізований еталонний пучок, з яким шляхом зрівнювання значень порівнюють пучок, відбитий зразком (це може бути зроблено різними шляхами). Потім за тих самих умов порівнюють із еталонним пучком пучок, відбитий від стандарту. При зіставленні отриманих значень одержують величину відбиття зразка.

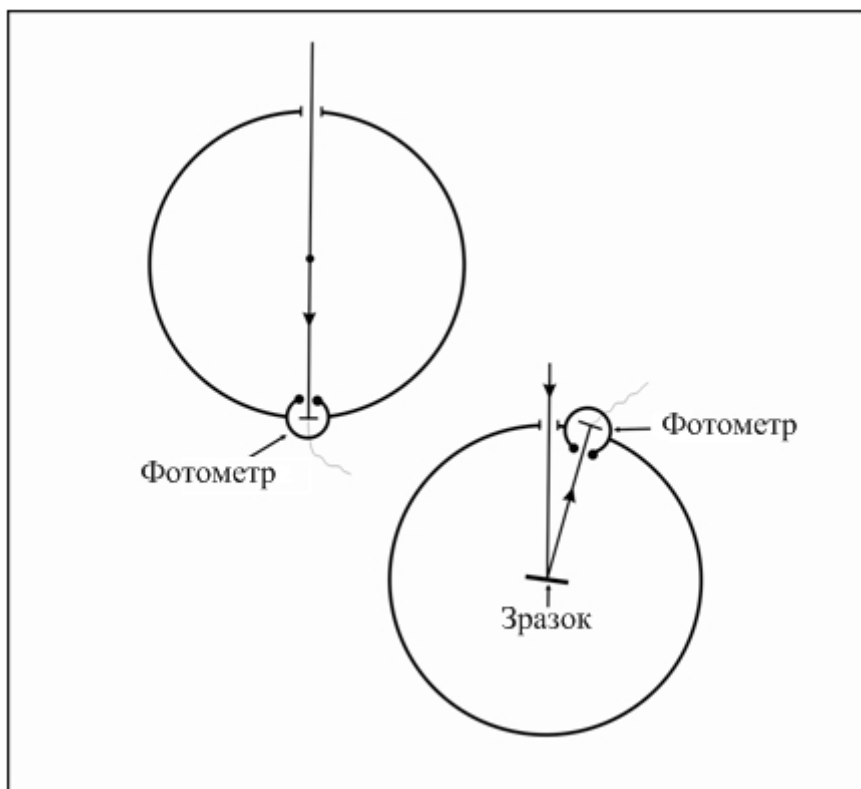


Рис. 4.3. Визначення величини відбиття

**Метод одного пучка.** У цьому методі пучок, відбитий зразком, вимірюють фотометром, після чого вимірюють пучок, відбитий у тих самих умовах еталоном. Відношення цих двох значень дає величину показника відбиття зразка.

Цей метод, уперше запропонований, одержав досить широке поширення, тому що його можна використати разом з мікроскопом. Процедура методу проста, а виміри досить точні для цілей діагностики.

**Метод одного пучка в монохроматичному світлі.** Нижче буде описаний найпростіший прилад з фотоелементом та електронним підсилювачем. Апаратура з фотомножником описана в одному з наступних розділів разом з деталями інших частин устаткування.

Прилад з фотоелементом складається з наступних вузлів: 1) стабілізатор, що стабілізує струм лампи; 2) лампа високої яскравості; 3) монохроматор відповідного типу; 4) мікроскоп з деякими додатковими пристосуваннями; 5) фотоелемент із електронним підсилювачем. Загальний пристрій показаний на рис. 4.4.

Лампа повинна бути високої яскравості, щоб давати якнайбільше світла, що проходить через монохроматор. Найбільш зручні для роботи монохроматичні інтерференційні фільтри; їх установлюють між лампою та освітлювачем і зміщують убік для зміни довжини хвилі; якщо потрібне біле світло, то всі фільтри просто виймають. В цій апаратурі монохроматор повинен мати середню ширину смуги пропускання близько 20 нм, що задовольняє як вимозі працювати з вузькою смугою, так і необхідності одержувати досить світла для фотоелемента.



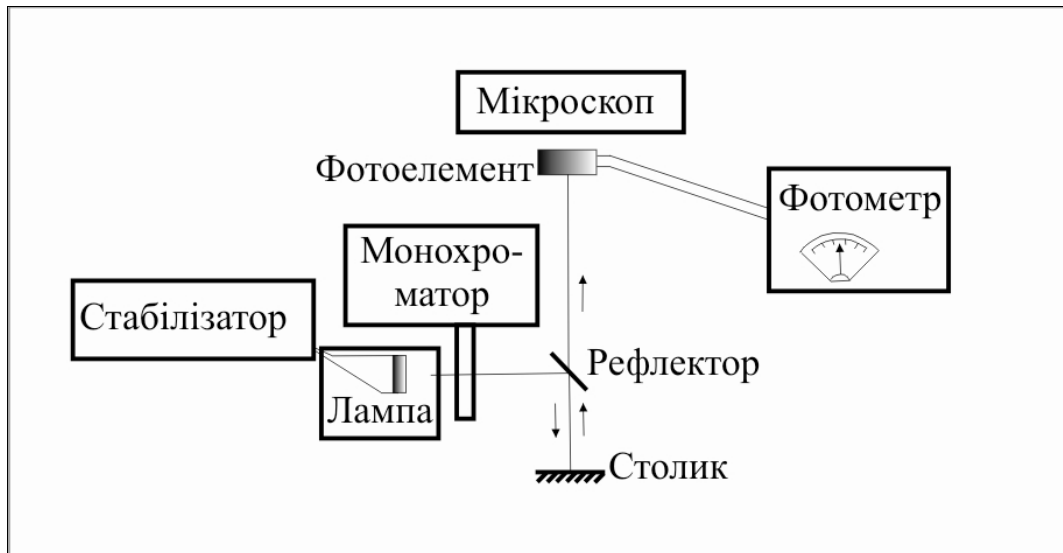


Рис. 4.4. Загальна схема для фотометричних вимірів на мікроскопі

Подібні виміри можна проводити зі звичайним рудним мікроскопом за умови, що він має дві діафрагми: одну польову діафрагму освітлювача для обмеження освітлюваної площі зразка та іншу польову діафрагму фотометра (або окуляра), щоб обмежувати площу, що вимірюється.

Оптичні умови треба витримувати постійними протягом усього часу виміру як для зразка, так і для еталона, тому що метод припускає порівняння значень, отриманих при послідовному вимірі. Мікроскоп повинен мати окулярний пристрій для установки фотоелемента, що не допускає проникнення бічного світла. Зручно помістити фотоелемент на пластинку, що просто виймають при спостереженні зразка звичайним шляхом.

Найбільш підходящий тип фотоелемента – селеновий. Він має криву чутливості, подібну із кривою людського ока, і лінійну характеристику, що досить важливо для цього методу. Після того як елемент звикне до даних світлових умов, він швидко реагує на освітлення відбитим пучком і дає повністю відтворені результати, але вимагає спеціального використання для запобігання втоми. Фотоелемент має розмір маленької монети, і його зручно поміщати на пластинку, що вводиться в отвір у верхній частині тубуса мікроскопа. З причини слабкості сигналу фотоелемента, він передається в електронний підсилювач, що підсилює струм; останній впливає на гальванометр, зі шкали якого беруть показання.

Процедура виміру досить проста:

- добре відполірований зразок встановлюють горизонтально;
- польову діафрагму освітлювача прикривають, щоб ізолювати зерно, що досліджується;
- діафрагму фотометра також прикривають доти, поки діаметр поля зору не стане таким, що дорівнює половині зображення польової діафрагми освітлювача (це забирає небажане світло від країв зображення);

– включають монохроматор на необхідну довжину хвилі, налаштовують фотометр, щоб він показував значення, зручне для зразка, і записують цей показник ( $G'_{\zeta\delta}$ );

– потім зразок на столику заміняють еталоном, також очищеним і встановленим горизонтально, і беруть показання ( $G'_{\alpha\delta}$ ) для нього в точно таких же умовах.

Коли пучок променів по шляху з освітлювача вниз до столика попадає на задню лінзу об'єктива, то частина променів світла може відбитися назад і потрапити у фотоелемент. Це світло вимірюють, поміщаючи передню лінзу об'єктива в темну коробку для того, щоб виключити влучення додаткового світла з боку; отриманий показник ( $C$ ) є виправленням на первинні відблиски. Хоча ця величина буде зберігатися постійною для даних умов експерименту, вона може внести помилку в остаточний результат, якщо є значна різниця між величинами відбиття зразка та еталона; відповідно цей показник віднімається від всіх інших показань фотометра.

Необхідний результат ( $R_{\zeta\delta}$ ) одержують із простого співвідношення:

$$\frac{R_{зр}}{R_{ет}} = \frac{G_{зр}}{G_{ет}}$$

де  $G_{зр} = (G'_{зр} - C)$ ,  $G_{ет} = (G'_{ет} - C)$ ;  $G'$  – показання фотометра;  $G$  – показання, виправлене на первинні відблиски;  $C$  – виправлення на первинні відблиски; *обр* – дані, що ставляться до зразка; *ет* – дані, що відносяться до еталона.

#### 4.1.1.2. Обладнання для фотометричних вимірів.

**Фотометри.** Фотоелектричні вимірювачі бувають трьох головних типів: фотопровідні (вимагають батареї), фотовольтажні (не вимагають батареї) і фотоемісійні. Перші два типи називаються *фотоелементами*, чутливим елементом у них є напівпровідник. Третій тип називається *фотомножником*, сприймаючий елемент у ньому (катод) є металом.

У фотоелементах у ролі приймача виступає напівпровідник, провідність якого може коливатися від високої (металевої) зі значенням  $10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  до низької (характерної для ізолятора) близько  $10 \cdot \text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . При влученні фотонів світлового пучка у фотоелемент електрони з його атомів звільняються, але залишаються усередині матеріалу; це внутрішній фотоелектричний ефект.

У *фотопровідному типі* такий ефект збільшує провідність. Фотоелемент поміщають у ланцюг з батареєю та гальванометром і вимірюють варіації в його опорі. Він обернено пропорційний до інтенсивності падаючого світла. Прикладом такого типу осередку може служити фотоелемент із сульфідом кадмію, але звичайно його не вживають для мікроскопічного виміру відбиття, тому що час його реакції досить тривалий, а інтервал чутливості невідповідний.

У *фотовольтажному типі* ефект викликає струм і тому батарея не потрібна. Цей тип елементу включають у ланцюг з гальванометром і вимірюють варіації струму. Він прямо пропорційний інтенсивності падаючого

світла. Такий елемент називають також фотоелементом із замикаючим шаром, або випрямлячем. Прикладом може служити селеновий фотоелемент.

У *фотоемісійному типі (фотомножнику)* при падінні фотонів світлового пучка на катод відбувається емісія електронів з металу (зовнішній фотоелектричний ефект). Електрони притягуються першим динодом, що заряджений позитивно щодо катода, і у свою чергу викликають емісію електронів, але вже більш сильну. Ці електрони притягуються другим динодом і т.д. (рис. 4.5).

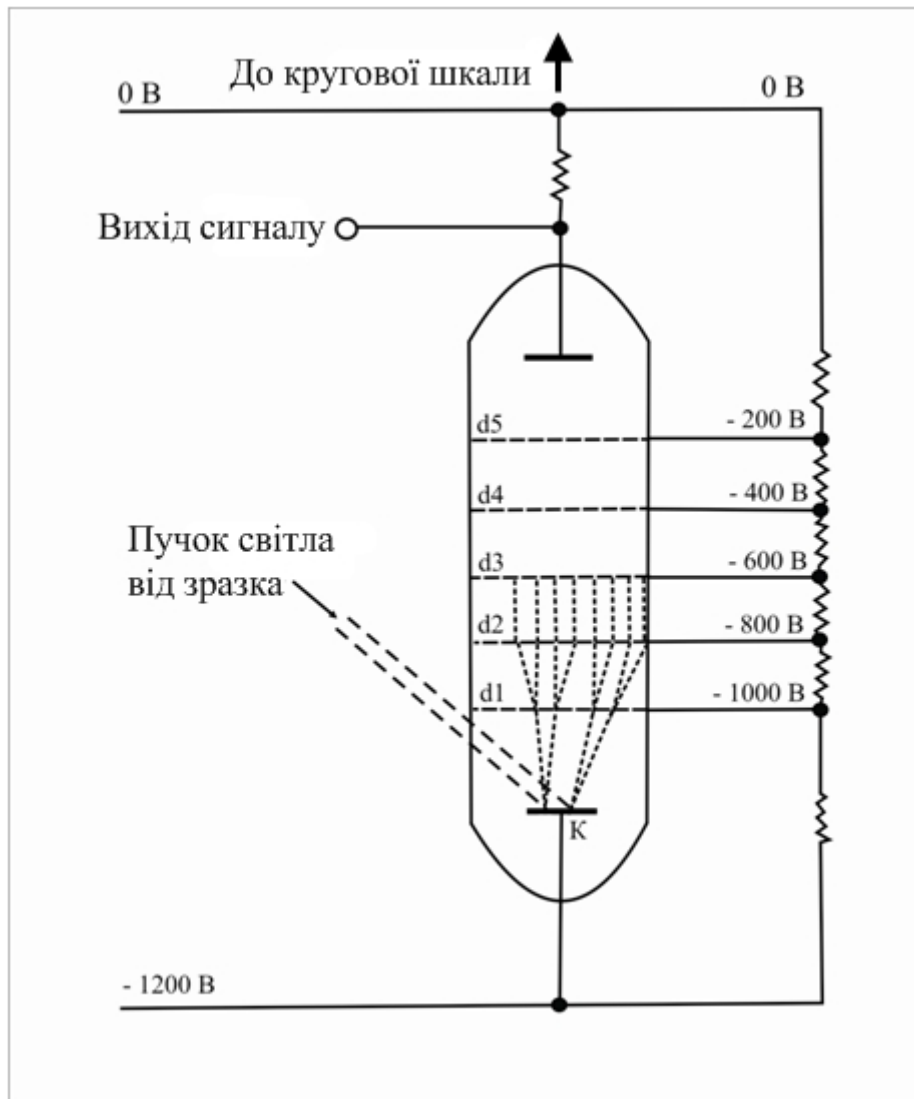


Рис. 4.5. Фотомножник

Процес триває до останнього динода, і загальна чутливість фотомножника залежить від кількості динодних каскадів, число яких може сягати  $10^4$ . Такий тип фотометра має велике значення для виміру відбиття дуже дрібних зерен або при дуже вузькосмугових монохроматорах, а також, якщо вимір ведуть на кінцях видимого спектра, де чутливість падає.

**Мікроскопи.** У наш час існують мікроскопи з вбудованою апаратурою для фотометричних вимірів. Прикладом може послужити мікроскоп-спектрофотометр МСФУ-К виробництва ВАТ «ЛЮМО» (рис. 4.6). Мікроскоп-

спектрофотометр призначений для фотометричних досліджень мікрооб'єктів і мікроділянок макрооб'єктів у минаючому, відбитому, поляризованому, неполяризованому світлі та у світлі люмінесценції.

Мікроскоп-спектрофотометр може бути використаний у криміналістиці, медицині, біології, мінералогії, в оптичному виробництві та інших галузях науки і техніки. Мікроскоп-спектрофотометр може бути використаний при контролі відбиття різних покриттів і прояснених поверхонь оптичних деталей.

Мікроскоп спектрофотометр МСФУ-К містить у собі спеціалізований блок керування, що забезпечує первинну обробку фотометричної інформації. Можливе підключення до персонального комп'ютера для керування мікроскопом-спектрофотометром та обробки фотометричної інформації за допомогою спеціального програмного забезпечення.



Рис. 4.6. Мікроскоп-спектрофотометр МСФУ-К

Програмне забезпечення дозволяє реалізовувати наступні можливості: керування монохроматором з вибором швидкостей сканування; математична обробка результатів фотометричних вимірів; автоматичне визначення координат кольору та кольоровості різних об'єктів; створення банку даних різних об'єктів з автоматичним пошуком за колірними характеристиками.

#### **4.1.1.3. Проведення вимірів за допомогою фотоелектричної апаратури.**

Фотоелектрична апаратура має низьку чутливість, внаслідок чого неможливі виміри на невеликій площі та існує обмеженість спектрального ряду. У той же час ці прилади можуть давати гарні результати, вони досить зручні для навчальних цілей і повсякденних рутинних вимірів:

1. При використанні фотоелектричного приладу варто брати монохроматор смугастого типу, оскільки потрібна широка смуга пропускання для забезпечення більшого проходження світла, достатнього для фотометра низької чутливості. Можна вводити пластинчастий або безперервний фільтр (звичайно використовують стандартну довжину хвилі 546 нм). Найбільш підходящими будуть об'єктиви зі збільшенням від  $8^{\times}$  до  $16^{\times}$ .

2. Еталони та зразки повинні бути ретельно очищені за допомогою спирту та м'якої ганчірки (ганчірки варто тримати в коробочці, тому що атмосферний пил може подряпати м'які мінерали). Зразок та еталон встановлюють горизонтально за допомогою ручного преса.

3. Зразок ретельно наводять на фокус, що можна зробити дуже точно в монохроматичному світлі лише в середній частині спектра. Іноді монохроматор видаляють і наведення на фокус проводять у білому світлі. Таке саме фокусування можна повторити і пізніше для кожної довжини хвилі, при якій роблять вимір. При вимірах підвищеної точності на фокусування повинна бути звернена особлива увага.

4. Вибирають стаціонарну польову діафрагму фотометра (ПДФ) або прикривають ірисову діафрагму так, щоб розмір її діаметра був трохи менше діаметра зерна та гомогенної площі кристала, що вимірюється. Треба пам'ятати, що діафрагма не повинна бути занадто малою, якщо бажано одержати задовільні підрахунки на даному фотометрі. Потім ПДФ центрують за хрестом ниток.

5. Далі встановлюють польову діафрагму освітлювача (ПДО) такого розміру, щоб вона була вдвічі більше видимого діаметра, але захоплювала тільки гомогенну площу зразка. Ділянка, що вимірюється, повинна перебувати повністю в межах освітленої площі, щоб уникнути якого-небудь дифракційного ефекту від країв діафрагми фотометра. Діафрагма повинна бути відцентрована щодо хреста ниток.

6. Вибирають шкалу чутливості фотометра так, щоб в її межах уклалися показання і зразка, і еталона; при цьому треба намагатися, щоб найвище значення було якнайближче до 100. При зразку, що перебуває на столику, вводять фотоелемент, перемикають світло і помічають наблизений відлік, що з'явився. Потім зразок на столику заміщають еталомом, фокусують його та беруть відлік для еталона. Залишають на столику той шліф, що показує найбільші значення (однаково – зразок або еталон), і обертають перемикач фотометра доти, поки показання шкали не наблизиться до 100, але не досягаючи цієї величини. Якщо фотометр має регулювання шкали чутливості, за допомогою останньої підганяють значення так, щоб показання шкали наблизилась, наскільки це можливо, до 100. Таким чином, одержують максимальну точність відліку за шкалою.

7. Починають робити виміри, причому можна спочатку виміряти зразок. Вводять фотоелемент і тримають вимикач закритим протягом 15 секунд, щоб досягти стійкого показання шкали ( $G'_{\text{до}}$ ). Цього часу звичайно досить, щоб дати заспокоїтися фотоелементу і не занадто довго змушувати чекати оператора. Фотоелементи розрізняються за швидкістю реакції, що варіює з довжиною

хвилі, і пристосовуваності до впливу світла. Крім того, їхня чутливість згодом поступово зменшується, тому після річного використання їх треба замінювати.

8. Замінюють зразок еталоном. Його фокусування може виявитися більш важким через невиразність поверхні. При сфокусованій системі спостереження зображення ПДФ повинно бути чітко видимим на поверхні об'єкта, що може допомогти навести на фокус етalon.

Можна також використовувати тонкі подряпини, але вони повинні перебувати поза площею еталона, що вимірюється. Умови повинні бути точно такими, які були при вимірі зразка. Знову беруть відлік за шкалою ( $G'_{\text{до}}$ ) після того, як вимикач витримали закритим протягом необхідних 15 секунд.

9. За тих самих умов столик опускають і перед об'єктивом поміщають чорну коробку. Показання шкали дає величину первинних відблисків, які обумовлені світлом, відбитим від об'єктива нагору, у той час як вхідний пучок іде вниз. Це значення є необхідним виправленням. Чорну коробку або шматок чорної ганчірки тримають перед об'єктивом для того, щоб бути впевненим у тому, що ніякого додаткового світла, крім променів від первинних відблисків, до фотоелемента не попадає.

10. Роблять простий розрахунок. Оскільки величина  $C$  присутня у всіх показаннях, її віднімають, щоб одержати скоректовані результати, які потім повинні бути використані в рівнянні для  $R_{\text{обр}}$ :

$$\frac{R_{zp}}{R_{em}} = \frac{G_{zp}}{G_{em}}$$

де  $G_{zp} = (G'_{zp} - C)$ ,  $G_{em} = (G'_{em} - C)$ .

11. Помилки, пов'язані з апаратурою, можуть виникнути в будь-якому типі фотоелектричних приладів. Щоб давати стійку реакцію, фотоелемент повинен пристосуватися до інтенсивності та до довжини хвилі збудливого променя. Таким чином, він повинен мати можливість реагувати на пучок протягом деякого короткого часу перед початком вимірів. Однак якщо давати занадто тривалу експозицію, то фотоелемент почне втомлюватися і реакція його зменшиться. Тому оператор повинен звикнути до апаратури і підбирати оптимальні умови. Якщо використовують широкий інтервал спектра, то бажано давати фотоелементу пристосуватися до зміни спектральних «кольорів». Після року роботи фотоелемент варто перевіряти, оскільки при старінні часто відбувається падіння його чутливості. Якщо прилад показує дуже високі значення виправлення  $C$ , треба перевірити місця з'єднання дротів до фотоелемента, тому що в цих ділянках може проникати стороннє світло та викликати постійний фотострум.

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Опишіть прямий кількісний метод виміру відбиття.
2. Охарактеризуйте Метод етalonного пучка при Порівняльному вимірі відбиття.

3. Охарактеризуйте метод одного пучка при Порівняльному вимірі відбиття.

4. Як проводиться розрахунок величини відбиття зразка при Порівняльному методі виміру?

5. Які види фотометрів існують? Опишіть особливості їхньої роботи.

6. Охарактеризуйте принцип роботи мікроскопа спектрофотометра МСФУ(К).

7. Опишіть методику проведення вимірів за допомогою фотоелектричного встаткування.

#### 4.2. Колір рудних мінералів

*Колір рудних мінералів у відбитому світлі – це дисперсія відбивної здатності рудних мінералів, тобто зміна величини коефіцієнта відбиття  $R$  залежно від зміни довжини світлової хвилі.*

Величина *коефіцієнта відбиття* рудних мінералів ( $R$ ) змінюється для різних хвиль монохроматичного світла. Так, у галеніту в повітрі, у зеленому світлі ( $\lambda = 500$ )  $R$  дорівнює 43,4 %, у жовтогарячому ( $\lambda = 600$ ) – 41,6 %, а в маслі – 28,8 %. Це явище називається *дисперсією відбиття*.

У табл. 4.1 показана залежність показників відбиття  $R$  деяких мінералів від роду світла та довжини світлової хвилі.

На рис. 4.7 наведені криві дисперсії відбиття рудних мінералів для піриту та галеніту.

Таблиця 4.1

Мінерали	Показники відбиття, %		
	зелене світло $\lambda = 546 - 520$ нм	оранжеве світло $\lambda = 590$ нм	червоне світло $\lambda = 650$ нм
Золото	47,0	82,5	84,0
Платина	65,3	65,3	63,5
Пірит	53,5	51,5	48,5
Тетраедрит	30,8	29,5	27,0
Сфалерит	18,8	17,7	16,7
Хроміт	15,7	14,7	13,8

*Колір мінералів – найбільш яскраво виражена діагностична ознака, що привертає увагу починаючого дослідника. Однак оцінка кольору та відтінку забарвлення рудних мінералів є важкою для початківців, оскільки порівняно невелика кількість рудних мінералів яскраво забарвлені (наприклад, борніт, халькопірит, ковелін, золото, мідь) (додаток 1, рис. 4). Більшість рудних мінералів забарвлені незначно, внаслідок чого виглядають білими або сірими з різними відтінками (магнетит – тілесно-сірий, гідрогетит – блакитнувато-сірий). У міру придбання навичок діагностики рудних мінералів, незначні колірні розходження стають видимими для спостерігача.*

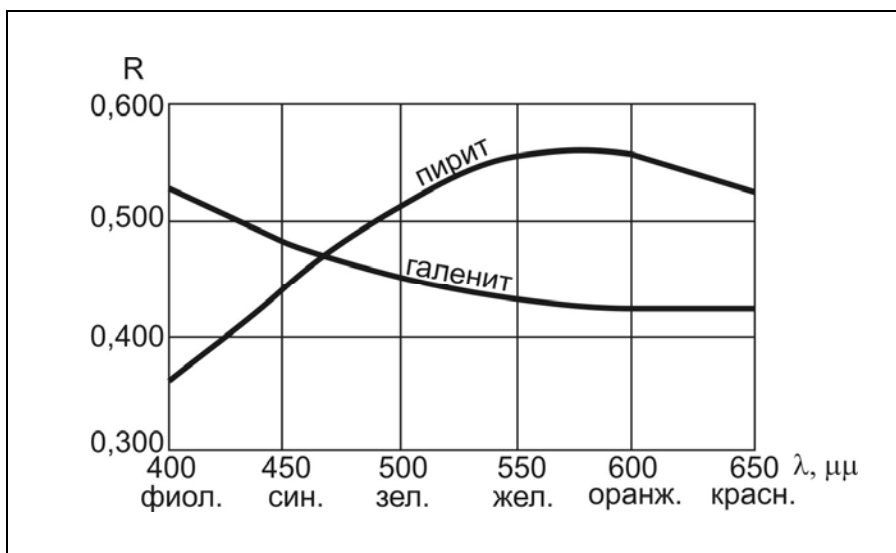


Рис. 4.7. Криві дисперсії відбивної здатності для піриту та галеніту [18]

Труднощі сприйняття кольору або відтінку рудних мінералів зв'язана ще із впливом навколишніх мінералів (халькопірит у контакті з галенітом виглядає латунно-жовтим (додаток 1, рис. 3), а в контакті із самородним золотом здобуває зеленувато-жовтий відтінок). Подібне явище «взаємної колірної інтерференції» викликає необхідність вивчати мінерал у різних асоціаціях (у контакті з різними рудними мінералами). При вивченні кольорів рудних мінералів необхідно скласти подання про власне сприйняття кольорів і відтінків, оскільки різними спостерігачами вони сприймаються неоднозначно.

Одним з ускладнень при сприйнятті кольору є вплив іризації, внаслідок чого, наприклад, борніт після тривалого зберігання аншліфів на повітрі здобуває не рожевий, а бузковий відтінок (додаток 1, рис. 4), а халькопірит стає помаранчево-жовтим.

На сприйняття кольору та відтінку рудних мінералів вплив робить також неякісне полірування або переполірування. Наприклад, при переполіруванні халькопірита він стає білішим, зберігаючи лише по краях та вздовж тріщин характерний жовтий відтінок. Даний ефект усувається шляхом повторного полірування на її кінцевій стадії.

При освоєнні навичок первинної діагностики кольору рудних мінералів у відбитому світлі рекомендується дотримання наступних умов:

Вивчення аншліфів виконується в повітряному середовищі, з об'єктивом  $10^x$  та з використанням синього кольорового фільтра «денного світла».

Поверхня аншліфа повинна бути чистою, а якість полірування – високим. Система освітлення мікроскопа повинна бути добре відцентрована, а обидві діафрагми (апертурна та поля зору) повинні бути широко відкриті. Послідовність рекомендованих спостережень наступна:

1. Спочатку потрібно вивчити та запам'ятати еталони кольору найменш яскраво забарвлених мінералів у послідовності від найбільш темних до більш світлого: кварц – темно-сірий, магнетит – сірий, тетраедрит – ясно-сірий, галеніт – білий.



2. Переглянути та запам'ятати еталонні кольори та характерні відтінки яскраво забарвлених мінералів: пірит – солом'яно-жовтий (блідо-жовтий), халькопірит – латунно-жовтий, піротин – рожево-жовтий, самородна мідь – червонясто-жовта, ковелін – синій.

3. Вивчити та запам'ятати прояви та зміни колірних відтінків мінералів у контакті з іншими мінералами. При спостереженні варто прикрити діафрагму поля зору і застосовувати об'єktiv зі збільшенням  $35^{\times}$ . При цьому варто звернути увагу на особливості прояву колірних відтінків у деяких еталонних парах мінералів: бежево-сірий, «тілесний» у магнетиту на контакті з гематитом або гетитом, рожево-жовтий у піротину на контакті з халькопіритом, жовтувато-сірий у псиломелану на контакті з піролюзитом.

4. Оцінити вплив наступних факторів на сприйняття кольору та відтінку рудних мінералів: освітлення із синім фільтром або без нього, освітлення різної інтенсивності, якості полірування, забарвлення сусідніх мінералів.

Колір мінералів у повітрі відрізняється від кольору мінералів у маслі (імерсійному). Для одних мінералів такі розходження незначні, для деяких – істотні. Наприклад, ковелін може змінювати колір від темно-синього в повітряному середовищі до червоно-фіолетового в кедровому маслі.

Колір мінералів залежить також від ступеня їхньої прозорості. Тому прозорі мінерали, що пропускають (поглинаючи) світло, у відбитому світлі виглядають темними, у той час як непрозорі мінерали відбивають більшу кількість падаючого світла та виглядають яскравіше.

Абсолютне значення кольору, що може сприймати око спостерігача, можна застосувати лише до невеликої групи мінералів. В основному ж використовується відносна характеристика сприйняття кольору за допомогою порівняння з відомими мінералами-еталонами.

Підвищена чутливість сприйняття людським оком навіть дуже незначних розходжень у відтінках та яскравості мінералів, була покладена в основу використання порівняльного мікроскопа, винайденого С.Б. Талмейджем. Даний прилад представлений мікроскопом із двома об'єктивами. Під один об'єktiv міститься мінерал-еталон кольору, під інший об'єktiv – мінерал, що досліджується. Освітлення, що подається від двох джерел світла, зрівнюють по інтенсивності. Зображення кожного об'єкта проектується на відповідну половину поля зору загального окуляра, через який ведеться спостереження.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Що таке дисперсія відбивної здатності рудних мінералів?
2. Чому і яким чином дисперсія відбивної здатності визначає колір і відтінок кольору рудних мінералів?
3. Перелічить мінерали-еталони квітів і назвіть їхній основний колір і відтінок.
4. Які фактори впливають на сприйняття кольору й відтінку рудних мінералів? Перелічить умови спостереження кольору рудних мінералів під мікроскопом.
5. Поясніть суть явища «взаємної колірної інтерференції».

### 4.3. Двовідбиття та плеохроїзм відбиття рудних мінералів

Ефект двовідбиття ( $\Delta R$ ) – це зміна інтенсивності відбивної здатності рудних мінералів при повороті столика мікроскопа.

Кубічні мінерали при будь-якому орієнтуванні зерен не змінюють свого відбиття та кольору при повороті столика мікроскопа. Багато рудних мінералів виявляють не тільки зміну інтенсивності відбиття, але й кольору при повороті столика мікроскопа; подібне явище називають *плеохроїзмом відбиття*.

Ізометричні (базальні) перетини гексагональних і тетрагональних кристалів не виявляють жодних із цих властивостей і поведуться як кубічні мінерали. Крім наявності в мінералі двовідбиття або плеохроїзму відбиття (або одночасно обох властивостей), необхідно відзначати також інтенсивність їхнього прояву (дуже слабке, слабке, сильне, дуже сильне). У випадку прояву плеохроїзму відбиття варто фіксувати кольори, які спостерігаються в різних перетинах.

Мірою двовідбиття вважається різниця між максимальним і мінімальним значеннями відбиття, вираженими у відсотках.

Сильно двовідбивні мінерали – графіт, молібденіт, антимоніт; помірковано двовідбивні – марказит, гематит, піротин;

Слабке двовідбиття спостерігається в ільменіту, енаргіту, арсенопіриту. Плеохроїзм відбиття характерний для ковеліну, людвігіту.

При вивченні двовідбиття рекомендується наступна послідовність та умови спостереження:

У першу чергу необхідно ретельно відцентрувати об'єктиви.

Спостереження варто робити в повітрі з використанням об'єктивів зі збільшенням  $10^X$ , а для дрібнозернистих руд (наприклад, з ковеліном) –  $35^X$ .

Для вивчення варто вибирати зростки по-різному орієнтованих зерен і не спостерігати відособлені монокристали.

Для концентрації уваги на групі по-різному орієнтованих зерен варто прикривати діафрагму поля зору.

При вивченні двовідбиття без зміни забарвлення рекомендується перегляд мінералів-еталонів у наступній послідовності (після тире – величини  $\Delta R$ ,  $R_g$ ,  $R_p$ ): графіт – 77; 22; 5 % молібденіт – 66; 35; 15 %, антимоніт – 33; 43; 30 %; кальцит – 33; 6; 4 %.

При вивченні мінералів, що виявляють плеохроїзм відбиття та виразне двовідбиття, рекомендується переглянути аншліфи з ковеліном – зміна кольору від небесно-голубого до васильково-синього, людвігітом – зміна кольору від блакитнувато-сірого до бузково-сірого.

Двовідбиття  $\Delta R_{\max}$  є оптичною константою, яку можна виміряти в головному перетині кристала, коли  $\Delta R_{\max} = R_g - R_p$ . Однак як і при визначенні  $R$ , око спостерігача сприймає не цю абсолютну величину, а її відносне значення у випадковому перетині кристала, яка починає сприйматися з  $\pm 5$  %:

$$\Delta R = \frac{R_g - R_p}{R_g} \cdot 100\%$$

Застосування даної формули як правило утруднене відсутністю еталонних мінералів у досліджуваних аншліфах. Тому досить обмежитися якісною оцінкою ефекту двовідбиття, використовуючи наступну градацію:

- винятково сильне двовідбиття –  $\Delta R = 40...60 \%$ ;
- сильне та виразне двовідбиття –  $\Delta R = 20...40 \%$ ;
- непомітне (у повітрі) –  $\Delta R = 15...20 \%$ .

#### Питання для самоконтролю:

1. Що таке ефект двовідбиття?
2. Чим відрізняється двовідбиття від плеохроїзму відбиття?
3. Від яких факторів залежить прояв двовідбиття?
4. Для яких мінералів характерно винятково сильне двовідбиття?
5. Які мінерали виявляють виразний плеохроїзм відбиття?
6. Охарактеризуйте умови спостереження двовідбиття.
7. Які мінерали характеризуються сильним двовідбиттям?
8. Для яких мінералів характерне слабке двовідбиття?
9. У яких рудних мінералів проявляється плеохроїзм відбиття?
10. Чому для вивчення двовідбиття рудних мінералів вибирають зростки по-різному орієнтованих зерен?

#### 4.4. Анізотропія рудних мінералів

Рудні мінерали стосовно поляризованого відбитого світла підрозділяються на *ізотропні* та *анізотропні*. У групу ізотропних мінералів входять мінерали кубічної сингонії й аморфні; анізотропних – інших сингоній.

*Ізотропний мінерал* при схрещених ніколях залишається темним і не просвітлюється при повороті столика на  $360^\circ$ . *Анізотропні мінерали* при схрещених ніколях виявляють зміна кольору або яскравості при обертанні столика мікроскопа. Спостерігається чотириразове згасання анізотропного кристала через кожні  $90^\circ$  при обертанні столика мікроскопа. Для одних мінералів характерне пряме згасання (вісмутин, нікелін, енаргіт та ін.), а для інших – косе (вольфрамін, малахіт й ін.). Деякі мінерали супроводжуються кольоровим ефектом анізотропії.

Поляризаційні забарвлення, які спостерігаються в анізотропному мінералі при схрещених ніколях, обумовлені головним чином дисперсією двовідбиття. Їх можна виявити при спостереженні анізотропії як у повітрі, так і із застосуванням масляної імерсії. При цьому в масляному середовищі вони краще виражені. Наприклад, у ковеліну колір змінюється від червоного до синього, в арсенопіриті від блакитнуватою до рожевого, у піротину – від жовтого до фіолетового і т.д.

Орієнтування положення згасання мінеральних зерен щодо кристалографічних напрямків іноді служать додатковою діагностичною ознакою, причому для цих цілей частіше використовують тріщини спайності, а не обрису кристалів. Якщо мінерал вгасає при положенні тріщин спайності паралельно площини коливання поляризатора, то говорять, що мінерал має

згасання, паралельне спайності. Наприклад, у ковеліну та молібденіту згасання паралельне до базальної спайності. У тих випадках, коли згасання, паралельне спайності, виявляється на декількох зернах, то очевидно, що мінерал відноситься до гексагональної або тетрагональної сингонії та має базальну або призматичну спайність.

У мінералів з безбарвним ефектом анізотропії при схрещених ніколях при обертанні столика мікроскопа змінюється яскравість. У результаті мінерали стають сірими, ясно-сірими (наприклад, вольфрамів, кіновар, рутил, ільменіт). Для мінералів гексагональної, тетрагональної, ромбічної, моноклінної, триклінної сингонії більшість перетинів анізотропно, однак деякі перетини будуть здаватися повністю ізотропними. Тому спостереження ефекту анізотропії завжди необхідно робити на декількох зернах мінералу. У більшості напівпрозорих і прозорих мінералів ефект анізотропії занадто слабкий, за винятком деяких карбонатів, і маскується внутрішніми рефlekсами.

Двійникування, структури деформації та зони росту, які в багатьох мінералів при спостереженні без аналізатора непомітні або слабкопомітні, часто чітко проявляються в схрещених ніколях завдяки анізотропії (рис. 4.10, 4.11).

Деякі перетини анізотропних мінералів, що мають певне орієнтування, можуть також бути ізотропними (наприклад, базальні перетини гексагональних і тетрагональних кристалів). Проте, більшість із них проявляють деякі зміни в яскравості або в кольорі, або в тому або іншому одночасно при повороті столика на  $360^\circ$ . Як і у випадку із двовідбиттям і плеохроїзмом відбиття, анізотропія може змінюватися від максимальної до нульової (коли кристал поводить як ізотропний), залежно від перетину, у якому даний кристал був відполірований.

В анізотропних кристалах при повороті столика на  $360^\circ$  є чотири положення через кожні  $90^\circ$ , у яких даний перетин згасає або знижує свою яскравість до мінімуму. Під мікроскопом, у схрещених ніколях, ізотропні мінерали при повороті столика залишаються тьмяними або рівномірно забарвленими. Повного затемнення зерен при обертанні столика мікроскопа не можна досягти, оскільки в результаті еліптичної поляризації деяка частина світла проходить через аналізатор.

Найбільш важливі мінерали-еталони ізотропних рудних мінералів – пірит, галеніт, сфалерит, бляклі руди, магнетит, хроміт.

*Слабко анізотропні мінерали* проявляють ефект анізотропії при сильному освітленні. При цьому вкрай рідко в даних мінералів помітний також ефект двовідбиття. Найбільш важливі мінерали-еталони слабко анізотропних мінералів – халькопірит, бурнотит, вюртцит, брауніт, вольфрамів.

Для *сильно анізотропних* мінералів є характерним виразний прояв кольорового ефекту анізотропії в схрещених ніколях, а також цілком виразний прояв двовідбиття на тих самих ділянках зерен, що досліджуються.

Найбільш важливі мінерали-еталони сильно анізотропних мінералів – ковелін, молібденіт, антимоніт, марказит, піротин, арсенопірит (рис. 4.10, 4.11). При визначенні анізотропії необхідно встановити її інтенсивність (дуже слабка, слабка, помірна, сильна, дуже сильна).

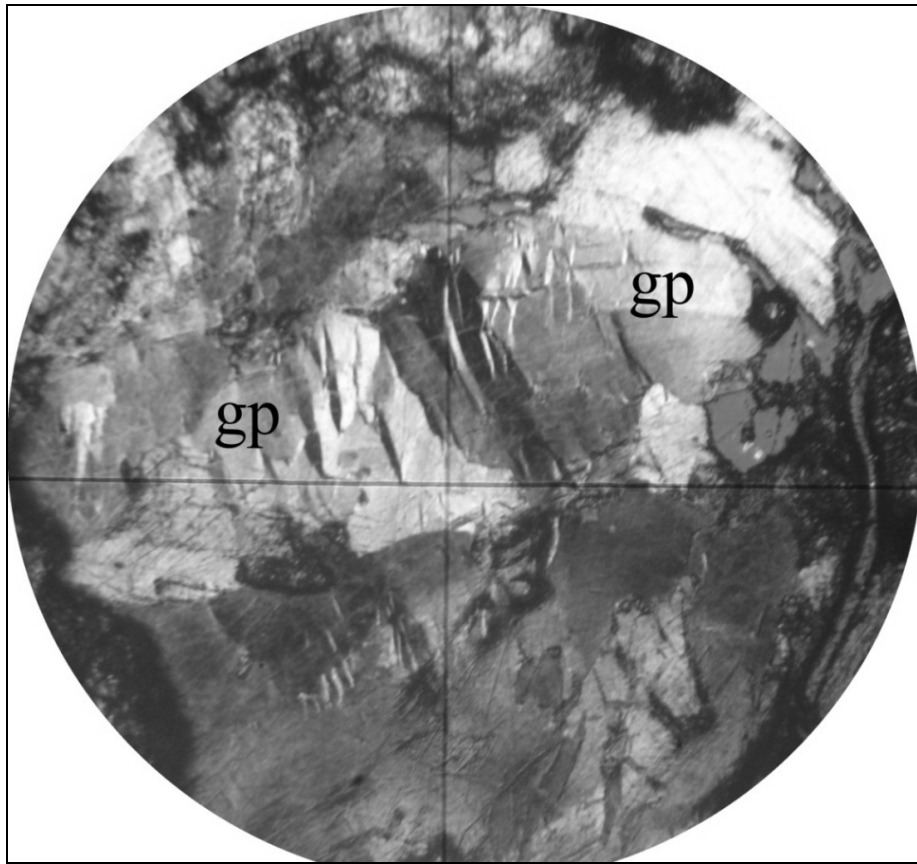


Рис. 4.10. Зональне згасання сильно анізотропного графіту.  
Світло відбите, ніколі  $\parallel$ , збільш.  $90^{\times}$

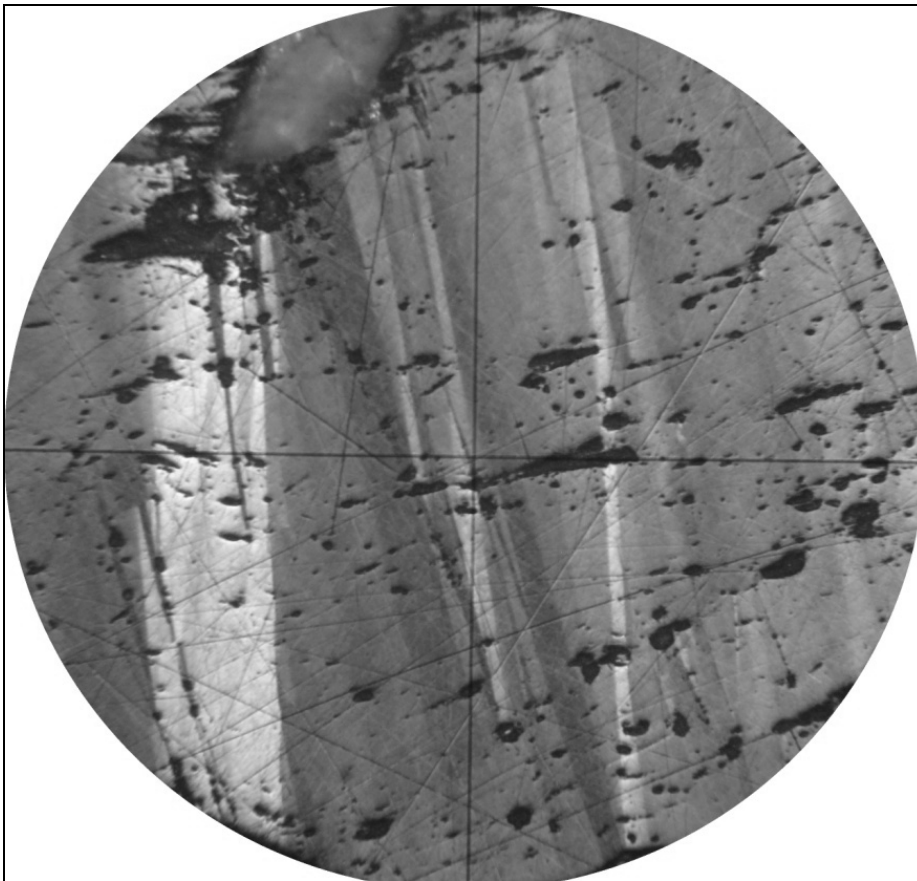


Рис. 4.11. Прояв двійникування сильно анізотропного антимоніту. Світло відбите, ніколі  $\parallel$ ,  
збільш.  $90^{\times}$

Іноді мінерали кубічної сингонії виявляють аномальну анізотропію. Це явище спостерігається в кобальтину, борніту, куприту.

Кольори, які спостерігаються в анізотропних мінералів при обертанні столика (кольору анізотропії), можуть виявитися коштовною інформацією для діагностики рудних мінералів, якщо користуватися ними, з огляду на деякі фактори. Так, наприклад, у марказиту, чітко темно-зелені кольори анізотропії.

Васильково-сині та золотаві кольори поляризації сафлориту служать для швидкої відмінності цього мінералу від арсенопіриту, а сірувато-голубий і димчасто-жовтогарячий колір рамельсбергиту відрізняють його від парарамельсбергиту. У зв'язку із цим необхідно дуже уважно спостерігати поляризаційні кольори.

Однак ці кольори постійні лише при строго схрещених ніколях і при їх паралельному положенні змінюються по-різному в різних мінералів, тому кожен спостерігач повинен скласти власний кадастр кольорів інтерференції для сприйняття.

При спостереженні анізотропії строге схрещення ніколей не обов'язкове, допускається поворот аналізатора на  $5-10^\circ$  вперед та назад від його «схрещеного» положення з поляризатором, тобто коли він розташовується стосовно останнього під кутом  $90^\circ$ . Даний прийом виключає рух об'єкта, який розсіює увагу. Необхідно також ретельно відцентрувати об'єктив і включити діафрагму поля зору, що виключає з поля зору сторонні об'єкти.

*Умови спостереження анізотропії* аналогічні до тих, які прийняті для дослідження двовідбиття, але мають і свої відмінні риси. Рекомендована послідовність вивчення анізотропії та умови спостереження наступні:

1. Необхідно ретельно протерти аншліф та відцентрувати об'єктив.
2. Спостереження варто робити в повітрі з об'єктивом  $10^X$  або  $6^X$ . Об'єктивом зі збільшенням  $35^X$  не слід користуватися через посилення ефекту еліптичної поляризації.
3. Варто перевірити правильність монтування аншліфа на предметному склі.
4. Необхідно особливо ретельно відрегулювати яскравість освітлення поля зору та установити ніколі в схрещене положення. Для цього варто використовувати аншліф з ізотропним мінералом – магнетитом або хромітом.
5. Витягти синій фільтр, трохи прикрити апертурну діафрагму та підсилити освітлення реостатом до максимального (але тільки на час спостереження анізотропії, після цього необхідно знизити яскравість освітлення до нормальної інтенсивності).
6. Включити аналізатор і поворотом поляризатора домогтися максимально можливого затемнення (згасання) спостережуваних зерен.
7. Встановити аншліф із сильно анізотропним мінералом еталонної колекції та вибрати зросток по-різному орієнтованих зерен з добре вираженим згасанням мінеральних індивідів.
8. Повертаючи столик мікроскопа, перевірити схрещення ніколей: положення згасання або максимального просвітління повинне наступати через  $90^\circ \pm 3^\circ$ .

9. У першу чергу варто переглянути сильно анізотропні мінерали-еталони: графіт, молібденіт, антимоніт, арсенопірит, ковелін, ільменіт, людвігіт, піротин, марказит, піролузит. При цьому звернути увагу, у яких з перерахованих вище мінералів проявляються кольорові ефекти анізотропії. При спостереженні кожного мінералу після оцінки анізотропії в схрещених ніколях рекомендується виключити аналізатор, зменшити яскравість освітлення та зрівняти ступінь прояву анізотропії з інтенсивністю двовідбиття.

10. Вивчити еталони помітно та слабо анізотропних мінералів: гематит (мартит, залізна слюдка), гетит, вольфраміт, халькопірит. Зі спостереження анізотропії мінералів даної групи можна підсилити, застосовуючи дослідження в імерсії.

По закінченні спостереження ефекту анізотропії, варто оцінити вплив факторів, які знижують інтенсивність анізотропії: яскравості освітлення (змінюється за допомогою реостата й апертурної діафрагми), наявності синього фільтра, якості полірування, величини коефіцієнта відбиття (згасання слабшає з підвищенням коефіцієнта відбиття).

Необхідно враховувати й вплив побічних явищ, які помилково можуть бути прийняті за ознаки анізотропії – блакитнуватих відблисків від зовнішніх джерел світла біля тріщин, подряпин, ямок і пор, бічних граней кристалів; роль внутрішніх рефлексів у прозорих і напівпрозорих мінералів.

Слід зазначити, що тонкі паралельні подряпини, що залишилися в результаті недосконалого полірування, можуть викликати ефекти, подібні з анізотропією та двовідбиттям.

Велике значення при вивченні анізотропії має правильний вибір об'єкта досліджень. Насамперед, не слід спостерігати ефект анізотропії у великих відособлених зерен, оскільки в таких зернах не можна спостерігати контакт між проясненою та затемненою зонами – такі зерна повністю просвітлюються та згасають.

Несприятливими для спостережень також є дрібнозернисті агрегати, у яких згасання та просвітління окремих дрібних зерняток будуть зливатися. Тому найкраще спостерігати ефект анізотропії в зростках по-різному орієнтованих зерен.

Нерівна поверхня мінералу з ямками, вибоїнками, штрихами може обумовлювати виникнення згасання та просвітлення різних ділянок об'єкта при повороті столика, тому якість полірування повинне бути високим.

У деяких мінералів при схрещених ніколях яскраво проявляються внутрішні рефлекси, які помилково можуть бути прийняті за анізотропію.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Чим відрізняються ізотропні мінерали від анізотропних?
2. У яких випадках перетину анізотропних мінералів виглядають як ізотропні в схрещених ніколях?
3. Перелічить мінерали-еталони ізотропних, слабо анізотропних і сильно анізотропних мінералів.

4. Які умови необхідно дотримувати при спостереженні ефекту анізотропії?
5. Які фактори знижують інтенсивність прояву ефекту анізотропії?
6. Які побічні явища можуть бути помилково прийняті за прояв анізотропії?
7. Які вимоги необхідно виконати при виборі об'єкта для спостереження анізотропії?
8. Чому відособлені зерна мінералів несприятливі для спостереження анізотропії?
9. Чому дрібнозернисті агрегати рудних мінералів несприятливі для спостереження анізотропії?
10. Чому при спостереженні анізотропії необхідна висока якість полірування аншлафа?

#### **4.5. Внутрішні рефлекси**

*Внутрішні рефлекси – це явище просвічування прозорих, напівпрозорих і слабо просвітчастих мінералів при вивченні об'єктів у схрещених ніколях або при косому освітленні.*

Даний ефект обумовлений проникненням світла на деяку глибину в кристал і відбиттям його від внутрішніх частин мінералу. Прояв внутрішніх рефлексів найбільше чітко виражено на ділянках із тріщинами спайності, вибоїнками, мікровключеннями в мінеральних зернах. Іноді внутрішні рефлекси виявляються на границях зерен.

Мінерали з високим показником відбиття ( $R > 40\%$ ) не мають внутрішніх рефлексів, мінерали з помірним показником відбиття ( $R = 20 - 40\%$ ) часто проявляють внутрішні рефлекси, мінерали з низьким показником відбиття ( $R < 20\%$ ) практично завжди мають сильні внутрішні рефлекси.

Прозорі об'єкти краще вивчати в минаючому світлі, тоді як багато мінералів проміжної категорії просвічуваності краще вивчати у відбитому світлі. Такі мінерали можуть бути досить прозорими для того, щоб забезпечити проникнення світла нижче поверхні мінералу та наступне відбиття його від тріщин і дефектів усередині кристала. У результаті спостерігається розсіяне (дифузійне) освітлення, що йде зсередини кристала, або одиночні забарвлені світлові відблиски чи плями, що є різними формами прояву внутрішніх рефлексів.

Діагностичне значення має не тільки наявність внутрішніх рефлексів, але також їхній колір. Наприклад, каситерит має жовті або жовто-коричневі рефлекси, азурит – сині, малахіт – зелені. Внутрішні рефлекси найкраще спостерігати в схрещених ніколях при інтенсивному освітленні. У крупних зернах вони проявляються різкіше. На рис. 5, 6 (див. додаток 1) показані деякі варіанти прояву внутрішніх рефлексів.

Іноді починаючі дослідники зауважують, що багато зерен мінералу, що повинен проявляти внутрішні рефлекси, не виявляють їх.

У табл. 4.2 наведені мінерали, для яких спостерігаються внутрішні рефлекси.



## Мінерали, які мають внутрішні рефлекси

Внутрішні рефлекси	Мінерали
Білі	анатаз, перовськіт, сфалерит, бранерит, пірохлор, шпінель, каситерит, рутил, циркон
Жовті	каситерит, аурипігмент, рутил, гринокіт, псевдобрукіт, сфалерит, монацит, пірохлор, вюртцит
Червоні	андорит, левінгстоніт, рамделіт, арамайойт, лорандит, реальгар, баумгауеріт, манганіт, рутил, кіновар, метацинобарит, сарторит, колумбіт-танталіт, метастибніт, селен, куприт, міаргірит, тапіоліт, франклініт, пирсеїт, врбаїт, гауерит, платнеріт, вольфраміт, гематит, полібазит, ксантоконіт, гутчинсоніт, прустит, цинкіт, лепідокрокіт, піраргірит, ливейнгіт, квенселіт
Коричневі	каситерит, гаусманніт, рутил, хроміт, хегбоміт, сфалерит, колумбіт-танталіт, лієврит, шпінель, давидіт, перовськіт, торіаніт, гетит, псевдобрукіт, вольфраміт, гринокіт, пірохлор, вюртцит, гроутит, квенселіт, ксантоконіт, брауніт, кофініт, магеміт
Зелені	малахіт, алабандин, манганозит, шпінель; рідко – есколаїт
Сині	азурит, кубаніт
Сірі	штилеїт

У зв'язку із цим при вивченні внутрішніх рефлексів не можна обмежуватися одним зерном мінералу, що досліджується. Наприклад, якщо в аншліфі переважають зерна гематиту, то внутрішні рефлекси будуть спостерігатися лише в деяких зерен.

При вивченні внутрішніх рефлексів варто дотримуватись наступних необхідних умов:

У першу чергу варто забезпечити сильне освітлення (відрегулювати положення лампочки освітлювача, витягти синій фільтр, максимально відкрити апертурну діафрагму).

Спостереження варто проводити в повітрі, використовуючи об'єктиви різного збільшення, вибір яких залежить тільки від величини досліджуваних зерен.

Для спостереження внутрішніх рефлексів дрібних зерен прикривають діафрагму поля зору. Строге схрещування ніколей необов'язкове, допускається відхилення поляризатора на  $\pm 20^\circ$  від  $90^\circ$  залежно від найбільш виразного прояву внутрішніх рефлексів. По закінченні роботи первісне положення схрещення ніколей варто відновити.

При первісному спостереженні внутрішніх рефлексів в аншліфі звичайно використовують спосіб косого освітлення зовнішнім джерелом світла. Для цього варто використати об'єктив зі збільшенням  $6^X$  та аншліф з яким-небудь прозорим або напівпрозорим, але обов'язково інтенсивно забарвленим на просвіт мінералом – малахітом, азуритом, кіновар'ю, аурипігментом та ін. Патрон з лампочкою витягається із системи мікроскопа та, освітлюючи аншліф збоку і зверху, знаходять звичайний (для малахіту – зелений, для азуриту – синій, для кіноварі – червоний, для аурипігменту – жовтий та ін.) колір мінералу під мікроскопом, що відповідає кольору його внутрішніх рефлексів.

При спостереженні внутрішніх рефлексів варто зрівняти колір і відтінок мінералу без аналізатора з кольором його внутрішніх рефлексів і врахувати, що ці кольори доповнюють один одного в ділянці спектра: червона на просвіт кіновар має блакитний відтінок у відбитому світлі, синій лазурит виглядає рожевим та ін. Основними джерелами помилок при вивченні внутрішніх рефлексів рудних мінералів є їхня схожість із кольорами анізотропії. Щоб уникнути можливих помилок діагностики, варто вибрати зерно анізотропного мінералу (малахіту, сидериту), поставити його в положення згасання та переконатися, що навіть у положенні згасання внутрішні рефлекси чітко видні.

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Що таке внутрішні рефлекси рудних мінералів?
2. Як залежить інтенсивність прояву внутрішніх рефлексів від коефіцієнтів відбиття мінералів?
3. Які ділянки мінеральних зерен найбільш сприятливі для спостереження внутрішніх рефлексів?
4. Як відрізнити прояв внутрішніх рефлексів від кольорів анізотропії рудних мінералів?
5. Перелічить умови спостереження внутрішніх рефлексів.
6. У яких мінералів відсутні внутрішні рефлекси?
7. Які форми прояву внутрішніх рефлексів спостерігаються в аншліфах?

#### **4.6. Твердість рудних мінералів. Якісний і кількісний методи визначення мікротвердості**

*Твердість* – одна з основних оптичних констант рудних мінералів, що є найбільш доступною при діагностиці, а також мірою опору речовини механічному впливу більше міцного тіла, обумовлена в основному міцністю кристалічних ґраток структури речовини.

Залежно від кристалографічних напрямків для рудних мінералів характерна різна твердість. Фізична природа твердості включає пластичну деформацію, пружну деформацію та розрив. При мінераграфічних дослідженнях застосовують якісний і кількісний методи визначення мікротвердості.

#### 4.6.1. Якісний метод визначення мікротвердості.

**Метод визначення мікротвердості за рельєфом та світловою облямівкою.** При виготовленні полірованого шліфа рудоутворюючі мінерали чинять різний опір стиранню. У результаті цього при шліфуванні та поліруванні тверді мінерали сточуються повільніше та трохи рельєфно піднімаються над навколишніми більш м'якими мінералами. При цьому твердий мінерал має позитивний рельєф, а м'який – негативний.

Відносну твердість за рельєфом визначають, застосовуючи правило світлової смужки, що помітна навіть у добре полірованих шліфах. Для цього встановлюють у поле зору мікроскопа границю зрощення мінералу, що випробовується, та мінералу з відомою твердістю, частково прикривають апертурну діафрагму та повільно піднімають тубус мікроскопа. При підйомі тубуса мікроскопа світлова смужка буде переміщатися убік мінералу з більш низькою твердістю, при опусканні – убік твердого мінералу. Світлову смужку звичайно спостерігають із об'єктивами середніх збільшень. Метод визначення мікротвердості за світловою облямівкою використовують звичайно при порівнянні рельєфу мінералів близької твердості, а також при визначенні твердості мінералів, що утворюють дрібні включення в іншому мінералі.

Твердість мінералів за рельєфом не завжди може бути виявлена у прихованокристалічному та аморфному агрегаті, наприклад, що складається з окислів заліза та марганцю.

**Метод нанесення подряпин мідною і сталеву голками.** Дозволяє розділити рудні мінерали на три групи відносної твердості:

1) нижче 3 – дряпаються мідною голкою; 2) не дряпаються мідною, але дряпаються сталеву голкою; 3) обома голками не дряпаються. Визначення мікротвердості даним методом роблять при об'єктиві зі збільшенням  $4,7^{\times}$  й  $9^{\times}$ . Голку встановлюють у поле зору під кутом приблизно  $45^{\circ}$  до поверхні мінералу та наносять подряпину довжиною близько 1мм. Більшість рудних мінералів крихкі та при подряпуванні голкою утворюють порошок. У деяких мінералів по боках уздовж подряпування з'являється стружка. Якщо мінерал ковкий та грузлий, то при нанесенні подряпини залишається жолобок.

**Метод склерометрії.** Метод, запропонований С.Б. Талмейджем, складається з визначення мікротвердості на спеціальному приладі склерометрії за допомогою нанесення подряпин алмазними голками під певним навантаженням, щоразу одержуючи на полірованій поверхні мінералу подряпину стандартної ширини. За твердістю подряпування Талмейдж розділяв мінерали на 7 груп з відповідними літерними позначеннями, виділяючи в кожній групі мінерал-еталон.

У процесі визначення мікротвердості методом подряпування, необхідно мати на увазі, що твердість анізотропних мінералів (антимоніту, вольфраміту) змінюється залежно від орієнтування їхніх зерен, а ізотропних – залежно від кристалічної структури: у прихованокристалічних різностей твердість мінералів нижче, ніж у повнокристалічних. Наприклад, коломорфний мельниковіт-пірит і кристалічний пірит будуть розрізнятися за твердістю.

**4.6.2. Кількісний метод визначення мікротвердості (метод вдавлювання).** Випробування твердості вдавнення вже довгий час використовують при вивченні рудних мінералів, металів, сплавів та ін. Залежно від прикладеного навантаження виділяють:

- мікротвердість – до 200 г;
- твердість при середніх навантаженнях – від 200 до 10000 г;
- макротвердість – понад 10000 г.

Сучасні прилади для випробувань мікротвердості дозволяють міняти метод при вивченні широкого кола матеріалів, багато з яких зустрічаються тільки в мікроскопічних зернах.

Прилад, за допомогою якого проводять вимір мікротвердості називається мікротвердоміром (або мікротвердоміром) (рис. 4.15). Він складається з масивного штатива, на якому змонтовані всі приналежності для спостереження у відбитому світлі та *індентор* з механізмом навантаження. *Індентором* називається наконечник, який вдавлюється в матеріал, що досліджується, для подальшого вивчення відбитка. Предметний столик змонтований на штативі приладу. Столик можна повертати на  $180^\circ$ , що дозволяє переміщати шліф з досліджуваним мінералом від об'єктива до вістря індентора.

Звичайно в якості індентора застосовують квадратну піраміду Вікерса, одержуване значення твердості називають мікротвердістю за Вікерсом ( $H_v$ ). Інший тип індентора – піраміда Кнупа, величину твердості, одержувану з його допомогою, не можна систематично зв'язати з  $H_v$ . Індентор Вікерса використовується набагато ширше, особливо при вимірі мікротвердості для діагностики мінералів. Однак для вивчення зміни мікротвердості залежно від напрямку на певних площинах монокристалів застосовують звичайно піраміду Кнупа.

При дослідженні проблеми механічних властивостей кристалів необхідно враховувати концепцію «ковзних пакетів» [22]. Останні являють собою дуже тонкі шари матеріалу, які лежать між двома площинами дислокацій і легко піддаються стресу. Додавання малого навантаження викликає незначне вдавнення, і в загалі індентор може не торкнутися таких ковзних пакетів. Однак при більших навантаженнях більш імовірно, що індентор захопить один або навіть кілька ковзних пакетів, що полегшить його проникнення. Таким чином,  $H_v$  залежить від пластичних властивостей речовини в ділянці мікротвердження. Тому при використанні одержуваних значень  $H_v$  треба вказувати прикладене навантаження. Крім того, необхідно приймати до уваги і форму індентора, тому що від неї також залежить глибина його проникнення при даному навантаженні. Незважаючи на коливання одержуваних величин, значення  $H_v$  дуже корисні для діагностики непрозорих речовин, тому що вони дають один із двох основних параметрів, що використовуються при визначенні мінералів. При цьому необхідно пам'ятати наступне:

1. Завжди, навіть для кубічних кристалів, одержують не одне, а ряд значень мікротвердості. Розкид цих величин широко варіює залежно від речовини.

2. Значення мікротвердості також можуть змінюватися залежно від застосовуваного методу полірування, і остання завжди повинна бути, можливо, більш тонкою.

3. Одержувані значення в певних межах залежать від прикладеного навантаження.

4. Значення можуть змінюватися залежно від форми індентора.

5. Різні значення одержують при різному орієнтуванні індентора на даній кристалографічній площині.

6. Для цілей діагностики умови випробувань повинні бути стандартизовані, щоб одержувані значення можна було використати як один із двох головних параметрів при визначенні мінералів.

**4.6.2.1. Устаткування для вимірювання мікротвердості.** При вимірі мікротвердості застосовують два головних типи індентора – піраміду Вікерса із квадратною підставою та піраміду Кнупа з підставою у вигляді подовженого ромба (рис. 4.14). При одному і тому навантаженні остання проникає в поверхню зразка менш глибоко.

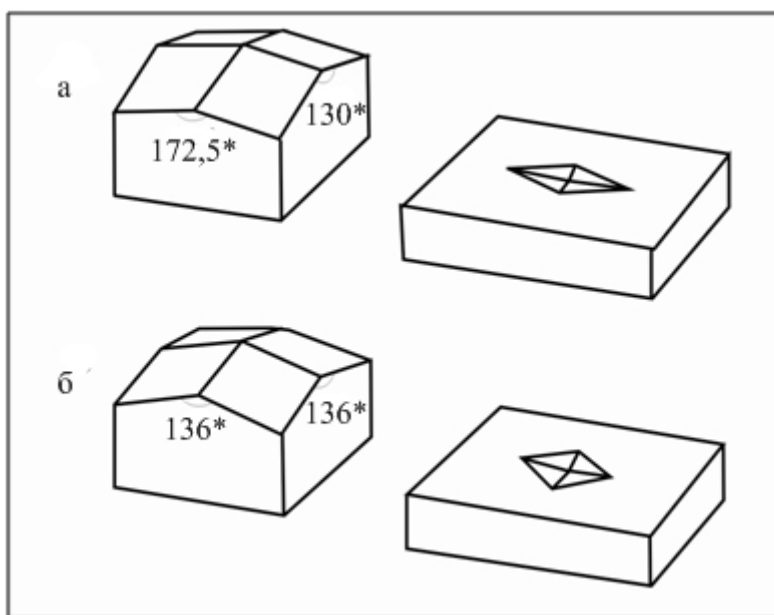


Рис. 4.14. Форми інденторів: а – індентор Кнупа; б – індентор Вікерса

У наш час випускають різні моделі мікротвердомірів: моделі, оснащені двома типами пірамід (Кнупа та Вікерса), з вбудованою оптичною системою спостереження, з автоматичним (гідравлічним і пневматичним) або ручним навантаженням, з автоматичним контролем часу випробування тощо. Нижче описаний тільки найпростіший тип, що дає задовільні результати для цілей навчання та найпростішої діагностики.

Простий тип мікротвердоміра має в якості індентора піраміду Вікерса. Піраміда встановлена на фронтальній поверхні об'єктива, що просто нагвинчується подібно звичайному об'єктиву. Цей об'єктив можна фокусувати на зерно, що досліджується. Фокус його однаковий з фокусами інших об'єктивів. Обране навантаження додається пневматично за допомогою

циліндра, що ковзає у вузькій трубці або вручну з фіксованим значенням прикладеного зусилля. Це викликає вдавнення індентора в зразок. При знятті навантаження відразу стає видимим відбиток. Для грубих вимірів діагоналей відбитка можна використати окуляр індентора, але видимість зображення при цьому не дуже гарна. Для більш якісних вимірів треба застосовувати окуляр близько  $40\times$ . Мікрометрний окуляр повинен бути відкалібрований для кожного об'єктива, що застосовується при вимірі.

Мікротвердомір із гідравлічним навантаженням менш зручний, тому що в'язкість рідини змінюється з температурою, що позначається і на прикладеному навантаженні. Пневматичні прилади позбавлені цього недоліку, що вимагає строгого температурного контролю, однак швидкість навантаження в них повинна бути низькою, щоб уникнути перевищення навантаження від поштовху індентора. Інструмент із ручним навантаженням діє добре тільки в руках досвідченого експериментатора, оскільки необхідно стежити за тим, щоб навантаження прикладалося та знімалося повільно і спокійно.

Для визначення мікротвердості в навчальних цілях використовується модель мікротвердоміра «ПМТ-3М» виробництва ВАТ «ЛЮМО» (рис. 4.15).

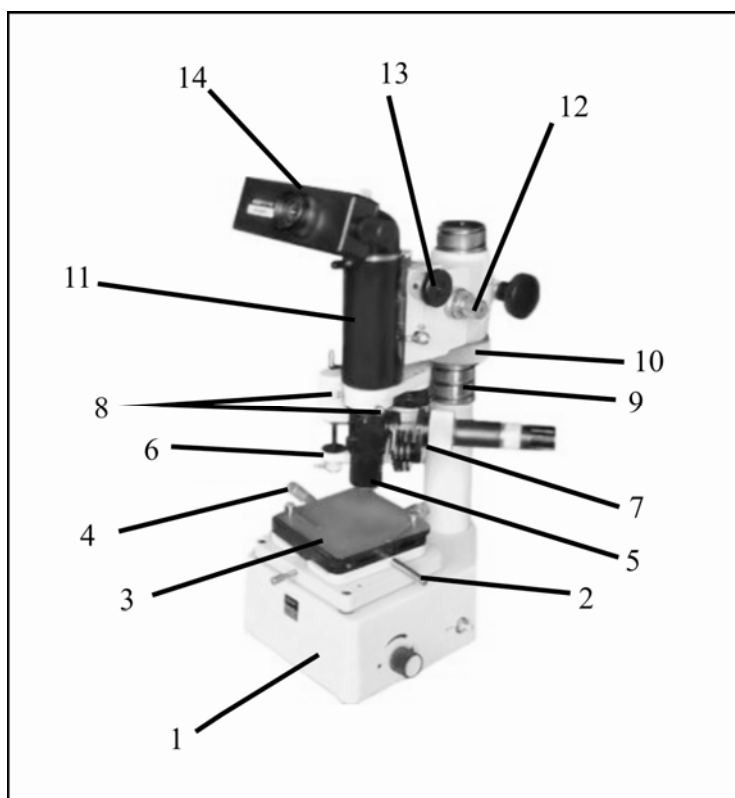


Рис. 4.15. Загальний вид мікротвердоміра ПМТ-3М

На масивній підставі закріплена колона 9 з різьбленням, а на ній – кронштейн із мікроскопом і пристроєм, що навантажує. Для установки кронштейна на необхідну висоту служать гайка 10 і стопорний гвинт. Мікроскоп складається з тубуса 11, окуляра-мікрометра 14, змінного об'єктива 5 (40- або 8-кратного) і освітлювального пристрою 7. Для грубого наведення на різкість мікроскоп можна переміщати по висоті відносно кронштейна гвинтом

13, пов'язаним з рейковим пристроєм. Перш ніж обертати гвинт 13, необхідно послабити гвинт, розташований на правій частині кронштейна. Для тонкого наведення на різкість мікроскоп переміщують у вертикальному напрямку обертанням мікрометричного гвинта 12. До нижньої частини тубуса мікроскопа прикріплений механізм навантаження 6. На рис. 4.16 показана його схема.

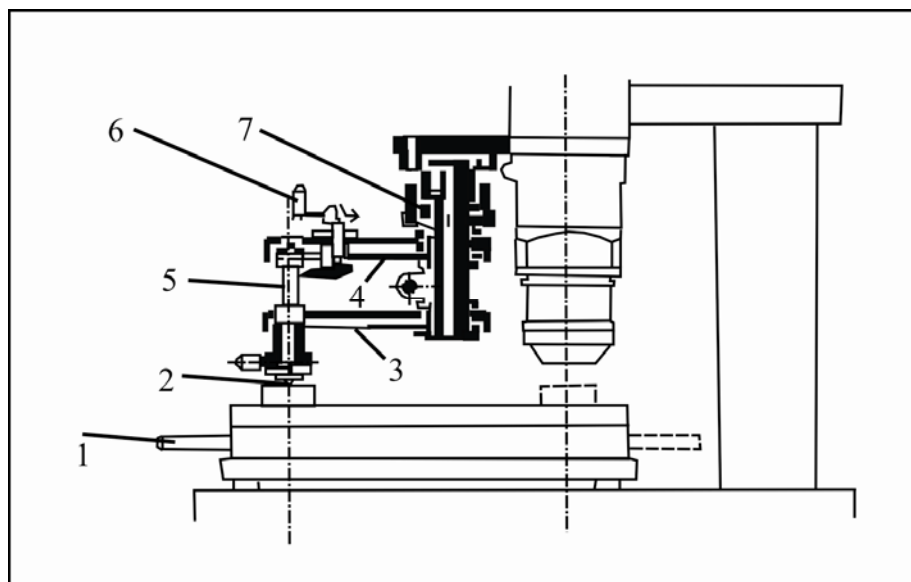


Рис. 4.16. Схема механізму навантаження мікротвердоміра ПМТ-3М

Грузила у вигляді дисків із прорізами надягають на стрижень 5, у нижньому кінці якого кріпиться оправлення з алмазним індентором 2. Стрижень підвішено до кронштейна на двох плоских пружинах 4 та 3. При повороті рукоятки 6 на себе стрижень 5 звільняється і переміщується під дією вантажів униз, вдавлюючи індентор у поверхню зразка. На підставі приладу встановлено предметний столик 3 (рис. 4.15), що може переміщатися у двох взаємоперпендикулярних напрямках за допомогою мікрометричних гвинтів 4. Крім того, столик можна повертати рукояткою 1 (рис. 4.16) навколо своєї осі на  $180^\circ$ .

Для нанесення відбитка зразок, що досліджується, встановлюють під мікроскопом і вибирають на ньому місце, у якому необхідно виміряти мікротвердість. Потім переміщують зразок так, щоб обране місце опинилось під вістрям алмазної піраміди (поворотом предметного столика на  $180^\circ$  до упору). Після вдавлення індентора та зняття навантаження зі зразка останній знову переводять під мікроскоп і вимірюють довжину діагоналі відбитка. Для забезпечення точного виміру мікротвердості прилад повинен бути ретельно юстирований. Завдання юстировки – точний збіг оптичної осі з віссю навантаження при повороті предметного столика на  $180^\circ$ . Іншими словами, необхідно домогтися, щоб відбиток наносився саме на тому місці, що було обрано під мікроскопом. Центрувальний пристрій, який дозволяє переміщати об'єктив у горизонтальній площині, приводиться в дію гвинтами 8 (див. рис. 4.15). Схема центрування наведена на рис. 4.17.

Спочатку встановлюють перекриття ниток окуляра-мікрметра точно в центрі поля зору мікроскопа. Для цього при обертанні барабанчика окуляра-мікрметра здвоєний штрих, що переміщається, повинен перебувати проти цифри 4 нерухомої шкали окуляра, а нуль шкали барабанчика – точно проти риски. Потім переміщенням предметного столика зі шліфом підводять під перехрестя обране для випробування місце (див. рис. 4.17,а) і наносять відбиток. Але якщо прилад не відцентрований, відбиток вийде осторонь від перехрестя (див. рис. 4.17,б). Центрувальними гвинтами 15 (див. рис. 4.15) переміщують перехрестя доти, поки воно не збіжиться із центром відбитка, що вийшов (див. рис 4.17, в).

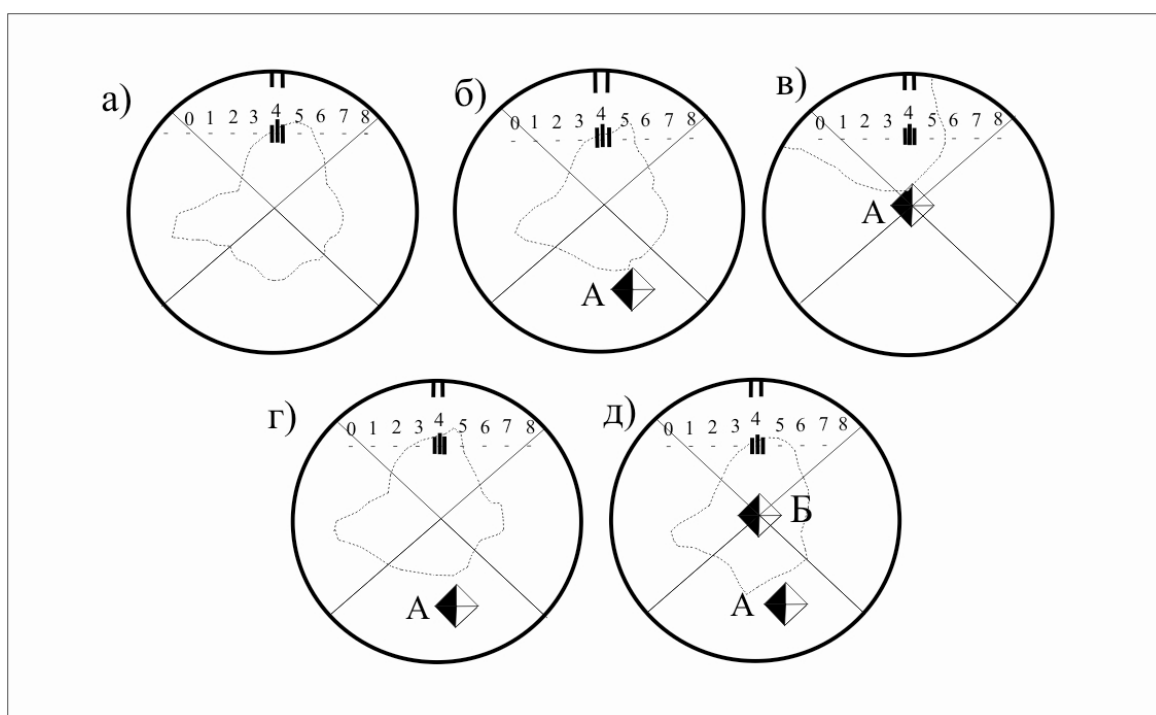


Рис. 4.17. Схема центрування мікротвердоміра ПМТ-3М

Потім знову переміщують столик (мікрметричними гвинтами) так, щоб перехрестя опинилось на тому місці, де потрібно зробити відбиток (див. рис. 4.17, г). Знову зроблений відбиток повинен бути отриманий точно в заданому місці (див. рис. 4.17, д). Якщо цього не відбудеться, всі операції повторюють спочатку. Операції центрування часто доводиться виконувати і у процесі роботи, після попереднього налаштування приладу.

Друге завдання юстировки (регулювання) – правильна установка по висоті механізму навантаження. При цьому кінчик алмаза (див. рис. 4.16) повинен торкатися поверхні зразка, а мікроскоп сфокусований на цю поверхню. Юстировка по висоті здійснюється гайкою 7. Необхідно домогтися такого положення, щоб без навантаження на поверхні шліфа з якого-небудь м'якого мінералу не з'являлося відмітин. Юстировку по висоті можна проводити на еталоні з точно відомою твердістю (наприклад, на кристалі кальциту). Піднімаючи або опускаючи механізм, що навантажує, необхідно домогтися



одержання відбитка з такою діагоналлю, яка б відповідала мікротвердості еталона.

При вимірі мікротвердості відстань між центрами сусідніх відбитків повинна бути не менш двох довжин діагоналі більшого відбитка. Такою самою повинна бути відстань від центра відбитка до краю зразка, довжина діагоналі відбитка – не більше полуторної товщини зразка.

Для визначення числа мікротвердості за довжиною діагоналі при різних навантаженнях існують спеціальні таблиці та номограми.

**4.6.2.2. Визначення величини мікротвердості.** Вимір мікротвердості здійснюється на спеціально підготовленому аншліфі. Зразок встановлюється на підставу (скляну або металеву плоску пластину) через підкладку із пластиліну за допомогою спеціального преса, що забезпечує паралельність поверхні шліфа і площини стола приладу ПМТ-3М, який перебуває в положенні виміру мікротвердості (повернутий до упору за годинниковою стрілкою).

За допомогою гвинтів 17 та 13 здійснюється наведення на різкість (рис. 4.15). Переміщенням стола мікрометричними гвинтами 4 вибирається місце нанесення відбитка мікротвердості тієї або іншої структурної складової.

Потім стіл переводиться в положення нанесення відбитка плавним його поворотом проти годинникової стрілки до упору за допомогою рукоятки 1 (рис. 4.16).

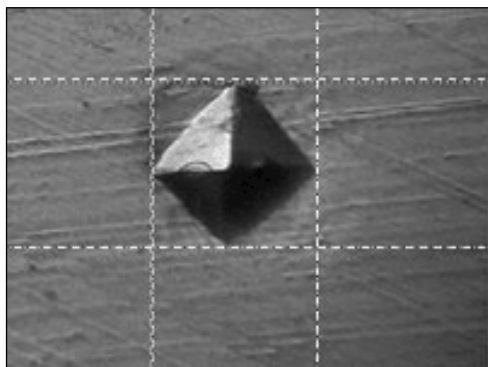


Рис. 4.18. Відбиток вдавлювання

На механізм навантаження приладу ПМТ-3М встановлюється грузило, що відповідає необхідній величині навантаження.

Поворотом рукоятки 6 механізму навантаження проти годинникової стрілки до упору, наступною витримкою відбитка під навантаженням (15...30 секунд) і поверненням рукоятки 6 у вихідне положення здійснюється цикл

нанесення відбитка мікротвердості. Поворотом стола в положення виміру відбитка мікротвердості (за годинниковою стрілкою до упору) поміщаємо відбиток (рис. 4.18) в поле мікроскопа (при необхідності коректуємо наведення на різкість). Поєднуючи перехрестя мікроскопа послідовно із правим і лівим кутом відбитка, зчитуємо відповідні показники довжин діагоналей зі шкали (сотні мкм) і лімба (десятки та одиниці мкм) мікроскопа.

Одержані значення довжин діагоналей беруть участь у розрахунках величини мікротвердості, наведених нижче. Мікротвердість вдавлювання визначають як навантаження в грамах, віднесене до площі контакту в квадратних мікронах. Вона має розмірність тиску: грам на квадратний мікрон.

Зручно розраховувати мікротвердість через величини, які виражають площу поверхні відбитка через довжину діагоналі з урахуванням кута при вершині піраміди алмазного індентора:

$$H = \frac{L}{A}; H_v = \frac{2 \sin 68^\circ \cdot L}{d^2}; H_k = \frac{2 \sin 64^\circ 48' \cdot L}{d_s \cdot d_l},$$

де  $L$  – навантаження (г);  $H_v$  мікротвердість за Вікерсом (г/мкм<sup>2</sup>);  $H_k$  – мікротвердість за Кнупом (г/мкм<sup>2</sup>);  $A$  – площа поверхні відбитка (мкм<sup>2</sup>);  $d$  – діагональ проекції відбитка (мкм); у випадку індентора Кнупа:  $d_l$  – довга діагональ проекції відбитка (мкм),  $d_s$  – коротка діагональ проекції відбитка (мкм).

Слід зазначити, що деталі процедури виміру залежать від типу приладу, але у всіх випадках необхідно дотримуватися наступних запобіжних заходів:

1. Мікротвердомір повинен бути поміщений на стіл, що не піддається вібрації; будь-яка вібрація при відтворенні відбитка може призвести до неправильних результатів, оскільки вона змінює ефективність прикладеної сили. Для перевірки апаратури необхідно використовувати спеціальну іспитову пластинку металу з відомою вузькою межею коливань значень мікротвердості. Варто періодично перевіряти зношування алмазної піраміди, якщо нею користуються для вивчення твердих речовин.

2. Зразок повинен бути добре відполірований, чистий і встановлений горизонтально. Для повсякденної роботи можна встановлювати зразок на пластиліні, хоча він може трохи деформуватися навіть при слабких навантаженнях і спотворювати одержувані результати. При точній роботі з дрібними зернами найкраще використовувати деякі спеціальні пристрої для вирівнювання, які будуть утримувати шліф від будь-якого зсуву.

3. На вдавлення можуть впливати кілька факторів. Як говорилося вище, для установки приладу потрібно використовувати тільки вільний від вібрацій столик. При ручному навантаженні будь-який поштовх також може завдати шкоди. Швидкість прикладення навантаження повинна бути досить повільною, щоб уникнути зайвого прикладання сили; у приладах із гідравлічним пристроєм навантаження необхідно ретельно контролювати температуру і стежити, щоб рідина мала відповідну в'язкість. Оскільки пластична деформація речовини триває протягом деякого часу, краще за все, щоб контакт індентора зі зразком зберігався протягом стандартного часу, що дозволить зіставляти одержувані результати. Рекомендується експозиція 15 секунд. Оскільки вдавлення залежить від навантаження, застосовуваного для визначення мікротвердості, то для одержання порівняльних результатів повинно бути прийняте єдине навантаження, у якості такого рекомендується брати навантаження 100 г. Якщо речовина крихка і відбиток сильно руйнується, можна використати менші навантаження. Загалом, наскільки дозволяє даний вид приладу, варто використати найбільше з можливих навантажень, при якому виникає відбиток без тріщин і дефектів. Якщо використовують дуже маленьке навантаження, то результат, імовірно, буде завищений, але сама крихкість мінералу може надати допомогу в діагностиці зразка. У випадку крихких мінералів результати часто можуть бути низької якості, якщо навантаження проводилось з більшою швидкістю, ніж вказано.

Якщо зерно, що випробовується, має невеликі розміри і мінерал м'який, може статися, що відбиток займе більше однієї третини площі зерна. У такому випадку на результати вплине контакт із іншими мінералами, і тому в даних умовах краще використовувати менші навантаження. Для виключення впливу крайового ефекту треба, щоб відбиток перебував не занадто близько до краю вимірюваного зерна. Найкраще, щоб відбиток не перевищував половини його діаметра, хоча при дуже маленьких зернах цього не завжди можна досягти. Може статися, що видиме зерно, що вимірюється, у дійсності являє собою лише тонку плівку на зерні іншого мінералу, що також спотворить результати. Помилка стане очевидною, якщо провести виміри на інших зернах того самого мінералу, що завжди необхідно робити. Для твердих мінералів відбиток при стандартному навантаженні виявляється маленьким, і тому варто переходити до більших навантажень (до 200 г) за умови, що вони не призведуть до руйнування зразка. При дуже твердих мінералах зростання помилки виміру у зв'язку з дуже маленьким розміром відбитка не дуже важливо, коли вимір проводять із метою діагностики.

4. При звичайній роботі досвідченому спостерігачеві досить зробити тільки по два відбитка на кожному із трьох або чотирьох зерен. Якщо отриманий розкид значень великий, краще збільшити число вдавлень. У той самий час не досвідченому операторові рекомендується робити більшу кількість вдавлень і робити їх по три або чотири на кожному зерні, якщо це можливо. При цьому треба уважно стежити, чи немає якого-небудь кращого орієнтування кристалічних зерен мінералу в зразку, що досліджується. При спеціальних дослідженнях також необхідно робити більшу кількість випробувань.

5. Для звичайних цілей використовують об'єктив зі збільшенням близько  $40^X$  і окуляр зі збільшенням  $10^X$ . При меншому збільшенні зображення відбитка буде мати розміри, недостатні для проведення точних вимірів. Якщо ж брати більш сильний об'єктив, то виникнуть додаткові труднощі у зв'язку з маленькою фокусною відстанню. При використанні окуляра зі збільшенням  $10^X$  або  $20^X$  варто зменшувати збільшення об'єктива так, щоб збільшити глибину фокуса.

Потрібно робити якомога більш точні виміри діагоналей, причому у деяких дослідників це виходить краще, в інших – гірше. Початківець звичайно прагне помилково помістити пересувне перехрестя всередину дійсного кута відбитка. Звичайно, дуже важливе значення має гарне освітлення. Початківцеві варто проводити декілька вимірів кожної діагоналі, щораз наближаючи перехрестя із зовнішньої сторони, і продовжувати виміри доти, поки не вийдуть близькі за значенням результати. Необхідно з'ясувати, що треба прийняти за межу помилки даного виміру, вивчивши його вплив на остаточне значення твердості. Треба по декілька разів вимірювати кожну діагональ відбитка і окремо усереднити результати, тому що реальна довжина діагоналей може бути різною.

Після закінчення вимірів показання окуляра-мікрометра переводять у числа мікротвердості. Для цього отримані значення спочатку переводять у

мікрони за допомогою множника, який одержують при вимірі об'єкт-мікрометра при тому самому збільшенні. Для перекладу мікронів у числа твердості існують спеціальні таблиці. Якщо виміри велися при точно встановленому збільшенні, то можна використовувати таку форму таблиць, де довжина діагоналей у мікронах переводиться прямо в значення мікротвердості. При публікації результатів бажано вказувати тип інструмента, на якому вироблялися виміри, тип індентора, а також величину прикладеного в кожному випадку навантаження. Корисно також відзначати, чи проявляє мінерал пластичність або крихкість, і описувати форму його характерних відбитків.

**4.6.2.3. Інші види мікротвердомірів.** Як ми вже відзначали вище, у наш час існує велика кількість різних моделей мікротвердомірів. Вони призначені як для навчальних цілей, так і для виконання професійних досліджень. Сучасні професійні мікротвердоміри працюють у напівавтоматичному (рис. 4.19) або автоматичному режимах (рис. 4.20).



Рис. 4.19. Мікротвердомір HVS-1000



Рис. 4.20. Мікротвердомір DuraScan 80

Мікротвердомір HVS-1000 (рис. 4.19) призначений для виміру мікротвердості тонких і маленьких зразків, а також крихких матеріалів. Особливістю даної моделі є наявність механізму, що виключає тертя переміщення штока. Він забезпечує стабільне випробне навантаження, що дозволяє значно підвищити точність вимірів. Процесор і датчик кутового переміщення здійснюють автоматичний вимір твердості, відображаючи результати на цифровому дисплеї та передаючи дані для обробки на персональному комп'ютері.

Твердомір DuraScan 80 (рис. 4.20) призначений для виміру твердості за Вікерсом і Кнупом. Являє собою сучасний автоматизований комплекс.

Висока точність при проведенні вимірів забезпечується новітньою системою додавання навантаження, автоматичною обробкою зображення, автоматичним фокусуванням і оптичною системою із LED освітлювачем.

Навантаження контролюється електронікою і проводиться в автоматичному режимі до заданих меж зі зворотним зв'язком, що дозволяє проводити попереднє і основне навантаження із забезпеченням заданих параметрів процесу.

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Що таке мікротвердість мінералів?
2. Які якісні методи визначення мікротвердості використовують при мінераграфічних дослідженнях?
3. У чому полягає метод «світлової облямівки» при визначенні мікротвердості?
4. Яке лабораторне устаткування застосовують при вивченні мікротвердості?
5. Охарактеризуйте принцип роботи мікротвердоміра ПМТ-3М.
6. У чому складається методика кількісного визначення мікротвердості?

#### **4.7. Магнітність рудних мінералів і методи її визначення**

Магнітні властивості характерні для порівняно невеликої групи рудних мінералів, серед яких найбільше зустрічаються магнетит, піротин, самородне залізо, самородна платина, кубаніт.

В аншліфах магнітність рудних мінералів визначається за допомогою магнітної стрілки й намагніченої сталеві голки. Цей метод легкодоступний, якщо вміст магнітних мінералів в аншліфі високий.

Якщо рудні мінерали з магнітними властивостями знаходяться в незначній кількості, то магнітність мінералів визначається за допомогою магнітності їхніх порошків. Визначення магнітності проводять при малих і середніх збільшеннях. Для одержання порошків рудних мінералів поліровану поверхню мінеральних агрегатів дряпають сталеві або алмазною голками (залежно від твердості мінералів, досліджуються). Якщо порошок має магнітні властивості, то його частинки будуть прилипати до вістря намагніченої голки. Іноді розмір зерен магнітних мінералів не дозволяє застосувати вищевказані методи і для визначення магнітності використовують метод *магнітної порошкографії*.

Сутність методу полягає в наступному. Для вивчення проявів магнітності готують концентрований мильний розчин. У розчин додають тонко перетертий магнітний порошок. Концентрація мила в розчині порошкової суспензії підбирається дослідним шляхом. Якщо концентрація недостатня, то в'язкість і пінистість розчину не забезпечують утримання часток порошку у зваженому стані, внаслідок чого при осадженні порошок швидко випадає із суспензії та

покриття не відповідає істинному розподілу магнітних властивостей у досліджуваних мінеральних зернах.

При високій концентрації підвищується в'язкість розчину та збільшується час осадження магнітного порошку, внаслідок чого картина покриття поверхні також не буде достовірною. Найбільш прийнятною вважається концентрація мила в розчині порошкової суспензії, що забезпечує покриття порошком на еталонному зерні магнетиту протягом 30...50 секунд.

Після закінчення часу осадження порошку столик мікроскопа нахиляють і залишки мильної суспензії змивають спиртом. При цьому до повного висихання аншліфа столик мікроскопа залишають у похилому положенні для забезпечення повного видалення суспензії. У результаті на поверхні залишається тонкий шар порошку, що має під мікроскопом червонясто-бурий відтінок. Даний шар порошку формує характерний малюнок розподілу магнітності досліджуваних мінеральних зерен.

При дослідженні магнітності в аншліфах варто спостерігати інтенсивність покриття порошком зерен мінералів. Сильномагнітні мінерали – магнетит, магеміт покриваються суцільною плівкою, на поверхні слабомагнітних мінералів осідають лише одиничні зерна порошку, поверхні немагнітних мінералів залишаються чистими.

#### 4.8. Структурні та морфологічні властивості рудних мінералів

Найбільш типовими структурними і морфологічними властивостями, які досліджуються при мінераграфічних дослідженнях, є форма кристалів та їхній габітус, спайність та окремість, двійникування, зональність, взаємне проростання.

**4.8.1. Форма й габітус кристалів.** Практично всі кристалічні форми мінералів, які спостерігаються при вивченні шліфів і штуфів, є в аншліфах. Рудні мінерали, що володіють високою твердістю, характеризуються значною силою кристалізації та мають тенденцію до розвитку добре утворених кристалів, навіть у найменш сприятливих умовах. Такі форми кристалів називають *евгедральними* або *ідіоморфними*, характерні вони для наступних мінералів – пірит, арсенопірит, магнетит, гематит, вольфраміт та ін. Поняття «ідіоморфні» є груповим, тобто охоплюється вся розмаїтість кристалічних форм мінералів різних сингоній. Мінеральні вклучення, у яких кристалічні грані розвинені не повністю, називають *гіпідіоморфними* (рис. 4.21, 4.22).

Для деякої групи мінералів характерні так звані *ангедральні* форми (халькопірит, борніт, тетраедрит). Конфігурація ангедральних (*алотріоморфних* або *ксеноморфних*) виділень залежить від форми заповнюваного простору. У звичайній руді переважна більшість рудних мінералів не має чітких кристалічних обрисів. При цьому варто пам'ятати, що полірована поверхня аншліфа дозволяє скласти двомірне уявлення про тривимірний об'єкт. Форма кристалічного перетину залежить від випадкового положення, у якому кристал був зрізаний поверхнею шліфа.

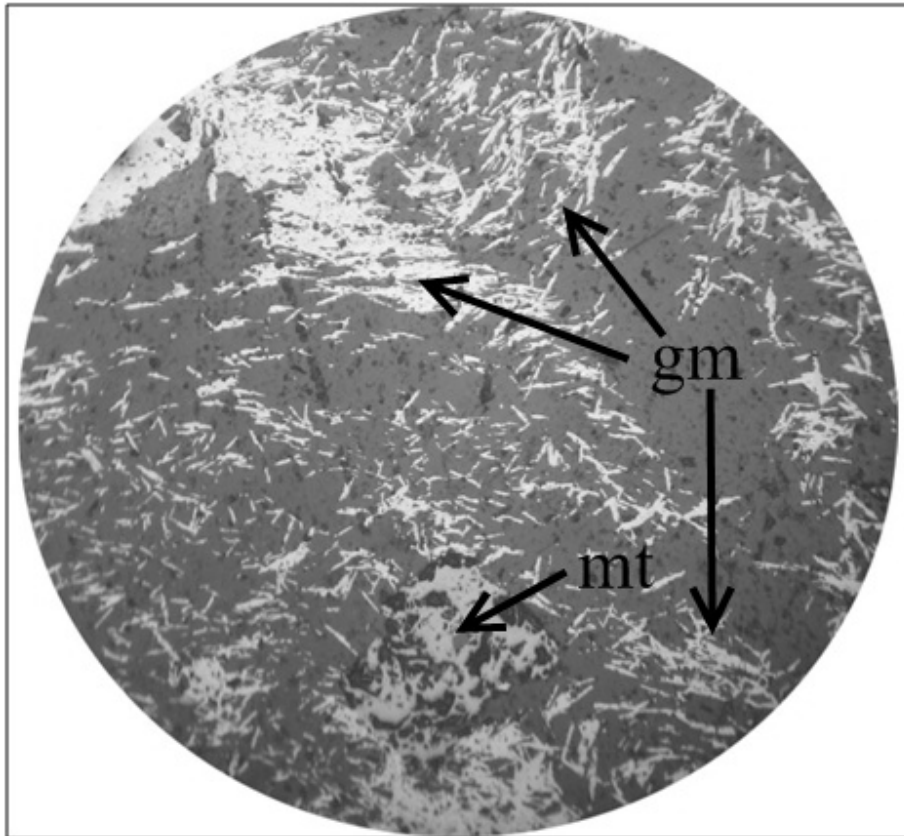


Рис. 4.21. Гематит голчатої форми (gm), в нижній частині – гіпідіоморфне зерно магнетиту (mt). Світло відбивне, ніколі ||, збільш. 135<sup>x</sup>

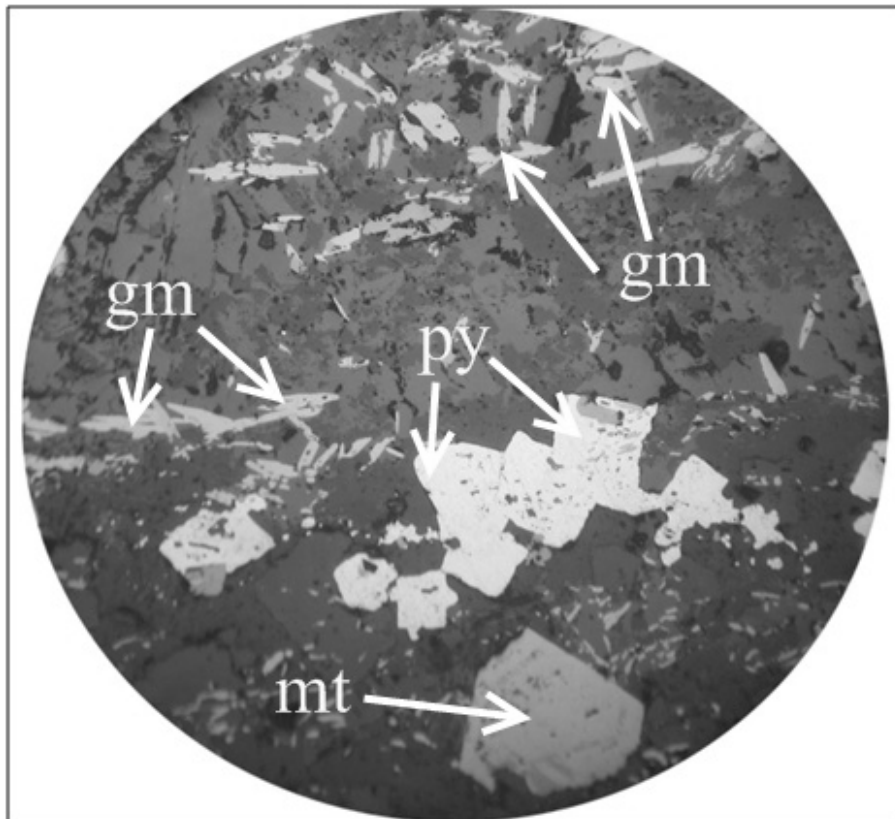


Рис. 4.22. Форми мінеральних включень різного габітусу: у верхній частині – голчаті зерна гематиту (gm), у центрі – ідіоморфні (кубічні) та гіпідіоморфні кристали піриту (py), у нижній частині – октаедричний кристал магнетиту (mt). Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

Внаслідок цього, наприклад, різні перерізи куба в аншліфі можуть мати форму квадрата, прямокутника або трикутника. Істинна кристалічна форма мінералу при вивченні аншліфа встановлюється за допомогою спостереження декількох перерізів кристала, що досліджується.

Практично всі мінералогічні терміни, які застосовуються для характеристики габітусу кристалів у мінералогічних дослідженнях, можуть бути використані й у рудній мікроскопії (кубічний, октаедричний, таблитчастий, стовпчастий, подовжено-пластинчастий, призматичний, коломорфний).

Деякі приклади габітусів кристалів рудних мінералів:

- *голчастий* – гематит, антимоніт, джемсоніт, рутил;
- *лейстоподібний* – ільменіт, гематит;
- *таблитчастий* – ковелін, молібденіт, графіт, гематит;
- *ромбічний* – арсенопірит, марказит;
- *скелетний* – магнетит (внаслідок швидкої кристалізації).

Габітус кристалів може бути використаний при діагностиці жильних мінералів, які звичайно асоціюють із рудними (октаедри та куби у флюориту, ромби в доломіту та сидериту).

**Кристалічними зернами** називають мінеральні виділення, що сформувалися при кристалізації з розчинів або розплавів.

**Метазерна** – це мінеральні виділення, що сформувалися в процесі метасоматозу.

У процесі коагуляції колоїдних розчинів формуються **колоїдні утворення**.

При перекристалізації зерен і розкристалізації колоїдів формуються **бластозерна**.

Форма мінеральних виділень, які утворювалися в процесі кристалізації розплавів або розчинів залежить від кристалізаційної здатності речовини, лінійної швидкості та сили кристалізаційного росту мінералів. Початок кристалізації – це момент стану розплаву або розчину, коли в ньому з'являються центри кристалізації.

**Здатність кристалізації** – це властивість речовини формувати певну кількість центрів кристалізації в одиницю часу. Чим вище кристалізаційна здатність речовини, тим більш дрібнозернистий агрегат формується.

**Швидкість кристалізації** – це лінійна швидкість росту кристалів в одиницю часу. Чим вище швидкість кристалізації, тим менш ідеальні форми кристалів утворюються.

При невеликій швидкості кристалізації формуються правильні за формою та однакові за розміром кристали. Якщо швидкість росту кристалів однакова в усіх напрямках, то формуються кристалічні зерна ізометричної форми, якщо швидкість росту кристалів має векторіальний характер, то формуються голчасті, пластинчасті зерна.

Форма мінеральних зерен метасоматичного походження залежить від сили кристалізаційного росту мінералів. Правильні, ідіоморфні обриси в процесі метасоматозу будуть приймати зерна мінералів, що мають найбільшу здатність і швидкість кристалізаційного росту.



Якщо мінерал, що заміщає, приймає властиві йому кристалографічні обриси, то його називають *метакристалом*.

Характерна риса мінеральних агрегатів, що сформувалися в процесі метасоматозу – нерівномірнoзерниста будова агрегатів і релікти заміщених мінералів у вигляді включень у метазернах. (рис. 4.23)

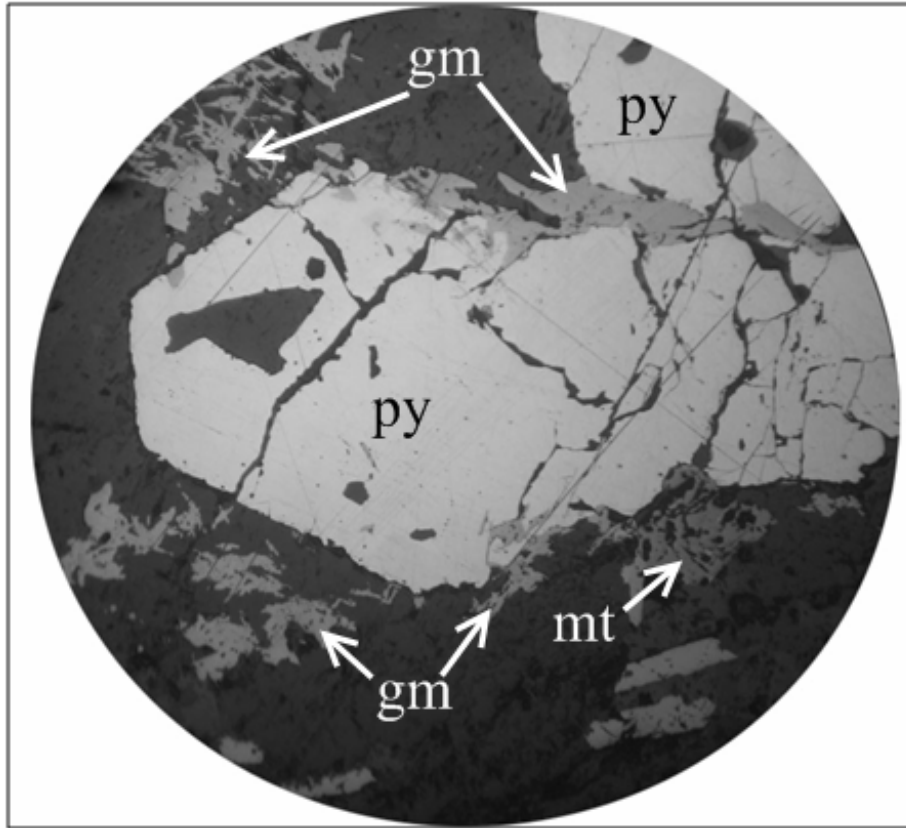


Рис. 4.23. Розвиток метакристалів піриту (py), що заміщається гематитом (gm) і магнетитом (mt). У зернах піриту спостерігаються релікти заміщених нерудних мінералів. Світло відбите, ніколі ||, збільш.120<sup>x</sup>

Форма мінеральних виділень, що сформувалися при перекристалізації раніше утворених мінералів або колоїдів, залежить від відносної сили і швидкості кристалічного росту мінералів, що складають руду.

Процес утворення мінеральних зерен при перекристалізації відбувався у твердому стані, тому новостворені зерна називають *бластозернами* або *бластами*. Бластозерна залежно від сили кристалізаційного росту мінералів можуть мати ідіоморфні, гіпідіоморфні та алотріоморфні обриси.

Характерна риса бластозерен у мінеральному агрегаті, сформованому в результаті перекристалізації та розкристалізації речовини – однакові міжзернові границі без ознак корозії.

Форма мінеральних утворень колоїдного походження характеризується дисперсним розміром часток –  $10^{-5} - 10^{-7}$  мм.

Характерна риса таких утворень – прихованокристалічна будова.

**4.8.2. Спайність та окремість.** Спайність та окремість рудних мінералів в аншлифах виражено, як правило, слабо, на відміну від легко розпізнаваної та застосовуваної для діагностики в прозорих шліфах.

В аншлифах спайність спостерігається у вигляді однієї або декількох систем паралельних тріщин. Кількість систем тріщин залежить від числа площин спайності або окремісті мінералу та від орієнтування полірованої поверхні. Якщо в мінералів є три або більше напрямки спайності, то можна спостерігати ряди трикутних поглиблень або так званих «трикутників викрашування» (рис. 4.24).

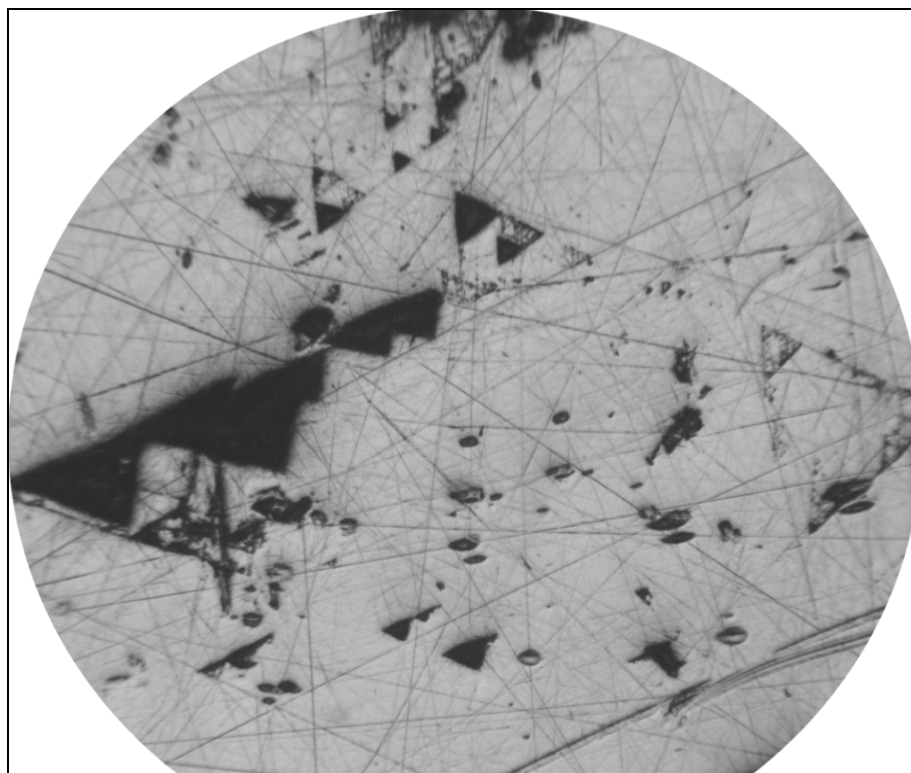


Рис. 4.24. Трикутники викрашування у галеніту. Світло відбите, ніколі ||, збільш. 108<sup>x</sup>

Подібні утворення характерні для галеніту, але можуть спостерігатися і у магнетиті, пентландиті, сфалериті та інших мінералах. Розподіл подібних поглиблень зв'язано не тільки з методом полірування, але й залежить також від орієнтування поверхні аншлифа щодо напрямків спайності. Так, призматична спайність дає ромбоподібний, трикутний або прямокутний малюнок; пінакоїдальна характеризується серією паралельних тріщин.

Спайність мінералу іноді може зовсім не проявлятися в ретельно відполірованих зернах. Часто напрямки спайності проявляються при вивітрюванні, процесах заміщення одних мінералів іншими, а також виявляється в результаті хімічного травлення поверхні аншлифа різними реагентами. Наприклад, процес окислювання галеніту з переходом його в англезит відбувається уздовж напрямків кубічної спайності.

**4.8.3. Двійникування.** У рудних мінералах спостерігається як двійникування росту, так і механічне (ковзання, трансляції).

Розрізнити ці типи двійникування при мінераграфічних дослідженнях не завжди можливо.

Двійникування росту в рудних мінералах може бути простим або складним, і спостережуваний кристал може виявляти двійникування по одному або декількох законах. Прості двійники у формі зірочок, «хвости ластівки» характерні для сафлориту, полісинтетичні двійники характерні для молібденіту, антимоніту, спекуляриту (помітні в схрещених ніколях). В ізотропному сфалериту двійники проявляються по рельєфній поверхні через різну твердість суміжних індивідів.

Однак в аншліфах, кристалографічні напрямки та площини часто невизначені внаслідок ксеноморфізму досліджуваних зерен або неможливості встановити орієнтування кристалографічних осей. Незважаючи на це, для деяких рудних мінералів двійникова будова досить характерна і може надати істотну допомогу при діагностиці рудних мінералів. Полісинтетичне двійникування дозволяє відрізнити рамельсбергит від парарамельсбергита, особливості двійників халькопірита дозволяють відрізнити його від золота.

*Трансляція* – це двійникування ковзання, обумовлене механічною деформацією. Виявляється в багатьох мінералів і часто супроводжується розвитком різко вираженої окремоті (рис. 4.25).

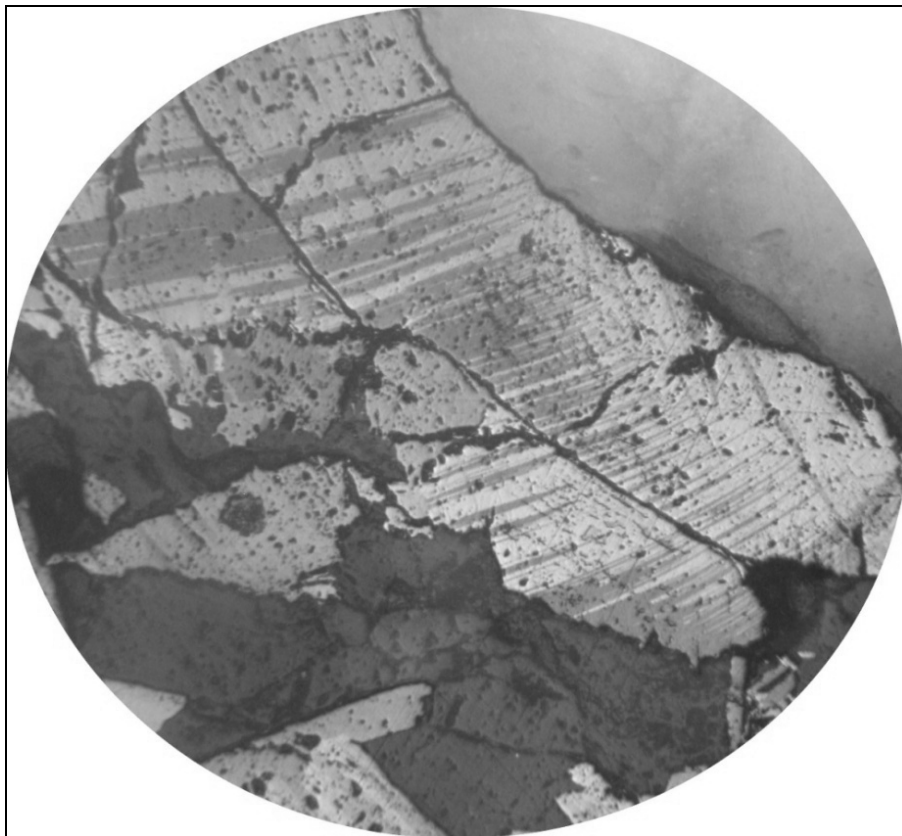


Рис. 4.25. Двійникування ковзання у магнетиту. Світло відбите, ніколі ||, збільш. 108<sup>x</sup>

У м'яких мінералах двійникування ковзання нерідко призводить до скривлення, хвилястості тонких лінзоподібних індивідів двійника, які у випадку анізотропних мінералів дають характерний візерунок у схрещених ніколях.

Деформації часто супроводжуються вигином і розтріскуванням мінеральних зерен, що виявляється за скривленням спайності або хвилястим загасанням в схрещених ніколях. Прикладами подібних проявів двійникування можуть бути зразки антимоніту, молібденіту, ковеліну та піротину.

Двійникування не завжди можна спостерігати в плоско поляризованому світлі. В ізотропних мінералів двійникування можна виявити за різкими змінами орієнтування спайності або лінійних зон включень, що перетинають двійникові шви. В анізотропних мінералів частини двійника іноді розрізняються за кольором та зникають при різних положеннях у схрещених ніколях. У випадку відсутності цих ознак двійникування також може бути виявлено за допомогою травлення відповідними хімічними реагентами.

**4.8.4. Включення та зрощення.** Включення та зрощення належать до деталей форм і взаємного положення мінеральних зерен, які часто виявляються тільки при мікроскопічних дослідженнях. Включення можуть розташовуватися відокремлено або групами, мати як правильні, так і неправильні обриси, мати відносно великі розміри, а також бути винятково дрібними, тобто за межами розрізняльної здатності рудного мікроскопа. При цьому включення можуть бути рівномірно або нерівномірно розподілені в «кристалі-хазяїні». Характеристика включень залежить від способу формування включень і «мінералу-хазяїна». Включення можуть являти собою мікрозерна мінералів, випадково захоплені під час росту «мінералу-хазяїна» та їхній розподіл може сприяти прояву зональності росту «мінералу-хазяїна». Нерідко включення є залишками раніше існуючих мінералів, які пізніше були заміщені «мінералом-хазяїном».

Якщо розвиток мінералу, що заміщає, а також вміщує включення контролюється кристалографічними напрямками вихідного мінералу, то релікти вихідного мінералу у вигляді включень в основному закономірно розташовані. Особлива група включень утворюється завдяки розпаду твердих розчинів на два компоненти при зменшенні температури.

Взаємовідношення «хазяїна» та серії вміщених у ньому включень відносять до категорії структур зрощення. До структур зрощення відносять графічні, субграфічні або інші види взаємного положення двох мінералів, що виникли у зв'язку з одночасним відкладенням, заміщенням або розпадом мінералів.

**4.8.5. Зональність рудних мінералів.** При вивченні рудних мінералів важливою діагностичною ознакою є зональність. У деяких мінералів спостерігається зональність росту, що проявляється в кристалах у формі концентрично-шаруватих структур, які свідчать про послідовне відкладення шарів навколо ядра. Кількість мікрошарів може бути різною.

Найбільш загальними причинами, що обумовлюють формування зональності по Ю.Н. Кемерону є наступні: *перерви у відкладенні речовини, що відображається перервами у формуванні структури зерна; ритмічна зміна умов відкладення речовини; зміни швидкості росту зерен; одночасна*

*кристалізація зерен різних мінералів у певні стадії росту кристала та включення цих зерен у тіло кристала; зміна в складі шарів кристалу, що відкладаються послідовно.*

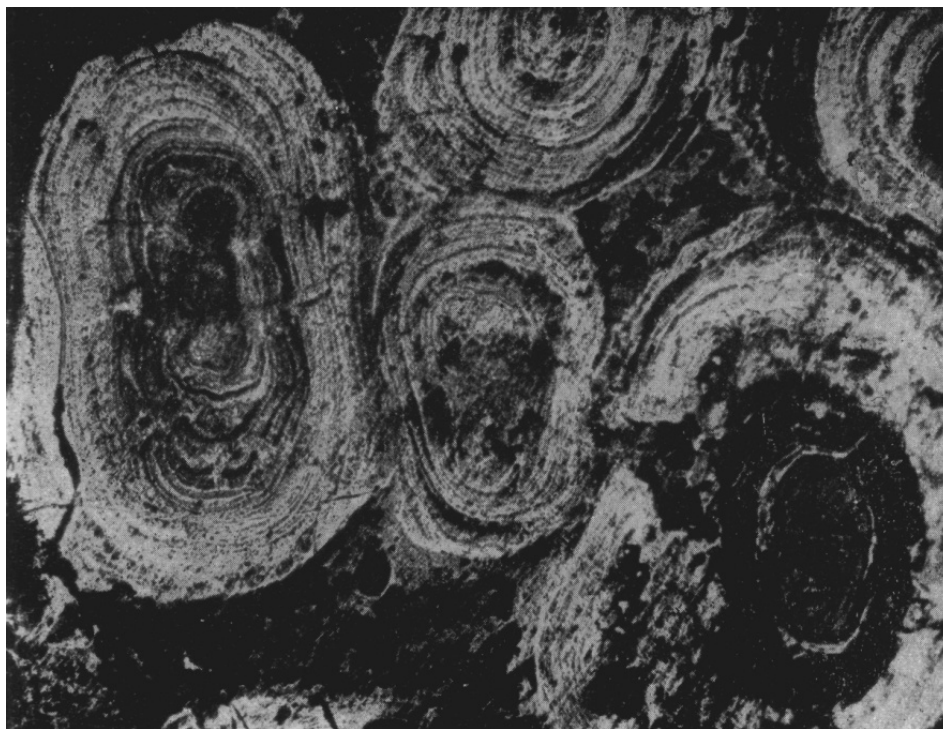


Рис. 4.26. Концентрично-зональні агрегати псиломелану та піролюзиту в марганцевій руді. Світло відбите, ніколі  $\parallel$ , збільш.  $90^{\times}$

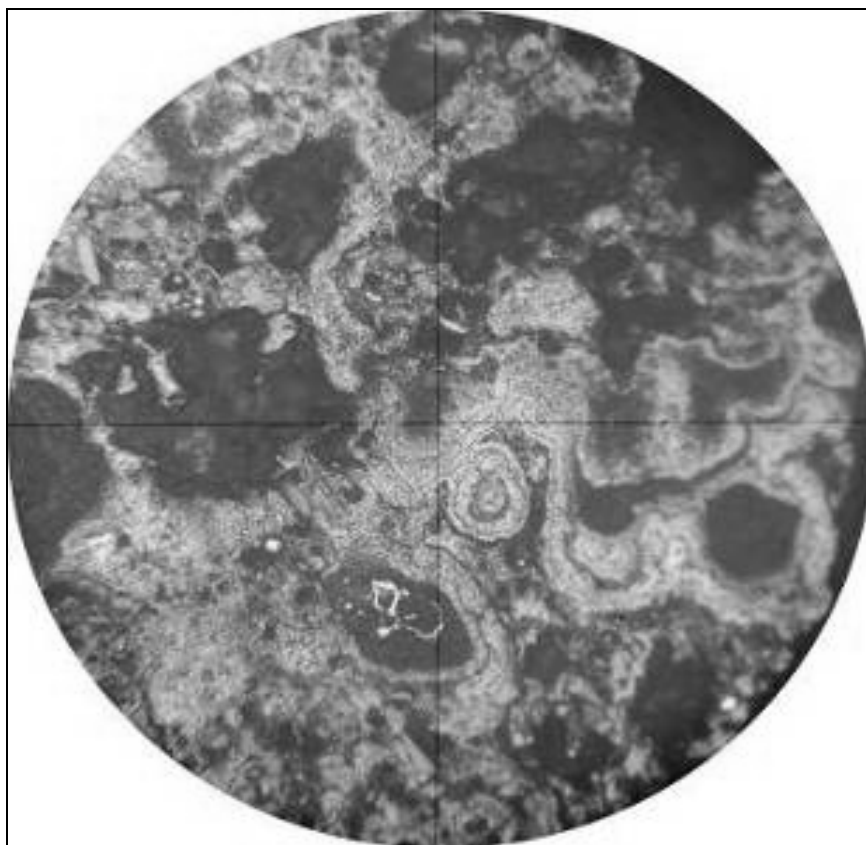


Рис. 4.27. Брунькоподібні, концентрично зональні агрегати гетиту та гідрогетиту, що утворюють тісні зрощення з нерудними мінералами. Світло відбите, ніколі  $\parallel$ , збільш.  $90^{\times}$

При мінераграфічних дослідженнях зональність іноді простежується у звичайному світлі завдяки колірним контрастам між шарами, фізичної неоднорідності усередині кристала або по зонально розташованих мікровключеннях у кристалі. Іноді зональна структура мінералів помітна тільки в схрещених ніколях. У ряді випадків необхідно застосування травлення хімічними реагентами, щоб зональна структура стала видимою.

Зональна будова проявляється у багатьох рудних мінералів, у тому числі: піриту, галеніту, сфалериту, антимоніту, арсенопіриту, сафлориту. Зонально-коломорфні мінеральні агрегати характерні для гетиту, гідрогетиту, манганіту, псиломелану (рис. 4.26, 4.27).

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Які структурні та морфологічні властивості рудних мінералів вивчають при мінераграфічних дослідженнях?
2. Які форми прояву спайності характерні для рудних мінералів?
3. Як утворюються трикутники викрашування?
4. Що таке евгедральні та ангедральні зерна мінералів?
5. Від чого залежить форма кристалічного перерізу зерен мінералів в аншліфі?
6. Що таке двійники трансляції?
7. Які існують форми мікровключень у зернах мінералів?
8. Що таке структури зрощення мінеральних зерен?
9. Які причини обумовлюють формування зональності в зернах мінералів?
10. Яким чином виявляється зональність при мінераграфічних дослідженнях?

#### **4.9. Мікрохімічні методи досліджень рудних мінералів**

При діагностиці рудних мінералів у відбитому світлі застосовуються мікрохімічні методи досліджень, серед яких основними є діагностичне та структурне травлення, реакції кристалохімічного та краплинного аналізу на окремі елементи. Найбільше докладно різні методи мікрохімічних досліджень були розглянуті С.А. Юшко [21], С.А. Вахромеєвим [18], Юджином Н. Кемероном [20].

**Якісний мікрохімічний аналіз** застосовується для визначення окремих хімічних елементів, які присутні у мінералі, а також для вивчення хімічного складу руд. Для якісного мікрохімічного аналізу складається набір реактивів, які підрозділяються на дві групи: розчинники та проявники.

*Розчинники* – такі реактиви, які використовуються для розчинення мінералу з метою одержання розчину, що випробовується. У цю групу входять кислоти різної концентрації (азотна, соляна, сірчана, оцтова), «царська горілка», аміак різної концентрації, перекис водню (30 %) і вода. Для одержання перлин необхідні сухі реактиви – сода, селітра, бура, фосфорна сіль й їдкі луги.

*Проявники* – реактиви, які використовуються в реакціях для відкриття хімічних елементів у випробуваному розчині, наприклад, жовта кров'яна сіль застосовується для визначення у випробуваному розчині  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mo}^{4+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{U}^{6+}$ ;  $\text{KI}$  – для визначення  $\text{Pb}$  тощо.

Для проведення мікрохімічних реакцій застосовуються *рідкі* та *тверді реактиви*. Рідкі реактиви зберігають у крапельницях місткістю 10 – 20  $\text{cm}^3$  з тонко витягнутими піпетками-капілярами, закритими гумовими ковпачками. Тверді реактиви зберігають у скляних баночках місткістю 10...20  $\text{cm}^3$ . На баночках і крапельницях пишеться формула або назва реактиву. Рідкі реактиви встановлюються на підставку із гніздами для крапельниць. У першому ряді звичайно розташовуються розчинники, у другому і третьому – проявники. Кожен реактив має постійне місце на підставці; не рекомендується виймати крапельниці з реактивами.

Для проведення мікрохімічного аналізу необхідно також заготовити фільтрувальний папір, нарізаний смужками 5x7 см; фотопапір, оброблений гіпосульфідом, висушену та нарізану листочками 5x6 см; предметні та часові стекла, піскові годинники на 1, 2, 3, 5 хвилин; піпетки та скляні палички; порцелянові пластинки, порцелянові чашки місткістю 200...300  $\text{cm}^3$ ; прямокутну пластинку та дротик, прилад для електротравлення, ручний прес для відбитків. З метою проведення мікрохімічного аналізу в польових і лабораторних умовах обладнують польові лабораторії, оснащені набором реактивів і всіх необхідних матеріалів.

**Діагностичне травлення (розчинення)** мінералів полягає в дослідженні впливу хімічних реактивів певної концентрації на поліровану поверхню мінералу протягом 1 хвилини.

У процесі полірування аншліфів формується тонка аморфна плівка з мінералів, що складають шліф. Цим матеріалом заповнюються мікротріщинки в мінеральних зернах.

При впливі хімічного реактиву спочатку відбувається розчинення аморфної плівки із проявом структури мінералів агрегату, надалі під впливом розчинника відзначається різний ступінь роз'їдання поверхні мінералу зі знищенням раніше виявленої структури, слідом за розчиненням можуть утворюватися осадки різного кольору.

Основними реактивами, які застосовуються при мінераграфічних дослідженнях є:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{FeCl}_3$ , «царська горілка» (1 частина концентрованої  $\text{HNO}_3$  та 3 частини  $\text{HCl}$ ).

Найбільш успішні результати виходять при дії концентрованих кислот  $\text{HNO}_3$  та  $\text{HCl}$  і 20 % розчинів  $\text{KCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ .

*При роботі з реактивами слід дотримуватися наступних правил безпеки:*

- при травленні аншліфів користуватися хімічними реактивами треба тільки в спеціально відведених місцях (за малим лабораторним столом, у витяжній шафі);
- не витягати флакони з реактивами з кювети (щоб уникнути перекидання);
- використати мінімально необхідний обсяг реактиву;
- структурне травлення робити тільки у витяжній шафі.

При виконанні діагностичного травлення можна спостерігати наступні явища: скипання краплі, забарвлення поверхні мінералу, потемніння поверхні – корозія, поява плівки іризації, прояв структури зерна, поява кільця навколо краплі, випадання осадку.

Крапля реактиву наноситься на мінерал за допомогою паперової стрілки, що використовується тільки один раз. Крапля не повинна поширитися за межі досліджуваного зерна. Спочатку спостерігають – відбувається чи ні процес скипання на поверхні мінералу. Потім, підсвічуючи краплю збоку (як при спостереженні внутрішніх рефлексів), визначають – відбувається чи ні забарвлення краплі. Далі за допомогою фільтрувального паперу краплю реактиву видаляють і вивчають поверхню мінералу.

*При виконанні діагностичного травлення слід дотримуватися наступних рекомендацій:*

- полірування перед травленням варто ретельно очистити;
- крапля реактиву не повинна виходити за межу досліджуваного зерна. Якщо крапля покриває 2 різних мінерали, то може виникнути електролітична пара, що змінить характер впливу реактиву;
- вплив реактиву варто вивчати по черзі на декількох зернах, оскільки різні перетини можуть реагувати на реактив по-різному;
- спостерігаючи за процесом скипання, не слід плутати його з виділенням пухирців повітря з мікротріщин – скипання проходить по всій поверхні краплі реактиву.

При слабкому впливі реактиву (при розчиненні аморфної плівки) виявляються деякі структурні особливості – тріщинки спайності, характер двійникування тощо. При цьому поверхня шліфа стає матовою через часткове руйнування полірування при розчиненні, іноді спостерігається також поява облямівки іризації.

В результаті сильного впливу реактиву розчиняється і сам мінерал: його поверхня стає шорсткуватою, забарвлення від сірого до чорного (внаслідок розсіювання падаючого світла).

Іноді після впливу реактиву утворюються осадки, що покривають поверхню мінералу. Під мікроскопом такі осадки виявлені у вигляді плівок іризації – жовтих, червоних, зелених, коричневих, синіх та ін. Забарвлення змінюється залежно від товщини плівки. Для деяких мінералів плівка іризації – добра діагностична ознака.

Мікрохімічні реакції вважаються позитивними, якщо після зняття краплі та промивання водою на полірованій поверхні мінералу залишається певний слід (структура, шорсткість, плівка іризації), негативними – якщо після впливу реактиву ніяких слідів не залишається.

**Кристалоскопічний аналіз** дозволяє робити визначення в розчині одного або декількох елементів і виконується шляхом введення в розчин відповідних реактивів, які викликають осадження солей елементів, що діагностуються, у вигляді кристалів. При мікрокристалоскопічному аналізі про наявність того або іншого іона судять за характерною новоутвореною формою кристалів, які розглядають під мікроскопом при збільшенні  $60^{\times} \dots 250^{\times}$ .



Метод заснований на властивості хімічного елемента утворювати нерозчинні осадки із проявником. Осадки відрізняються кольором і формою кристалів.

*Методика проведення кристалоскопічного аналізу наступна:*

1. Роблять розчинення мінералу з метою одержання розчину, що випробовується (мінерал + розчинник). Розчин, що випробовується, виходить при розчиненні мінералу в кислотах або лугах. При цьому важко розчинні мінерали сплавляють із содою або бурою у вушку платиного дроту, а потім отриману перлину розчиняють у  $\text{HCl}$  (1:1). Розчинення порошку мінералу проводиться на полірованому шліфі або на предметному склі. Крапля розчинника наноситься на поліровану поверхню мінералу і витримується певний час (від 1 до 5 хвилин). Отриманий розчин залишається на полірованій поверхні або переноситься піпеткою на предметне скло.

2. Відкриття елемента у розчині, що випробовується, проводиться шляхом з'єднання краплі розчину із краплею проявника на шліфі, на скляній або порцеляновій пластинці. На шліфі часто з'являється прихованокристалічний або аморфний осадок. Для одержання кристалічного осадку краплю розчину, що випробовується, поміщають поруч із краплею проявника на скляній пластинці та гострим кінцем скляної або дерев'яної палички проводять з'єднуючий «канал» між цими краплями. По такому «каналі» реактив поступово вливається в краплю розчину. Іноді в краплю розчину, що випробовується, вводять дрібну крупинку сухого реактиву – проявника.

3. Вивчення отриманого осаду проводиться на полірованому шліфі під мікроскопом у схрещених ніколях або під бінокулярном; на предметному склі – під мікроскопом у минаючому світлі. Спостерігач записує колір і форму кристалів осаду.

Приклади деяких реакцій:

1. *Визначення свинцю в сульфідах (галеніті, буланжериті, джемсоніті, бурноніті та ін.) з  $\text{KI}$  (5 % розчин).* Мінерал протягом 1...2 хвилин розчиняють в  $\text{HNO}_3$  (концентрованої), потім залишок кислоти ретельно знімають фільтрувальним папером.

Протравлену ділянку мінералу або шліфа змочують 5 % розчином  $\text{KI}$ . Утвориться осадок йодистого свинцю жовтого кольору. Аналогічну реакцію дає вісмут.

2. *Визначення сурми в сульфідах та антимонідах з  $\text{KI}$  і  $\text{CsCl}$ .* Мінерал розчиняється на шліфі в  $\text{HNO}_3$  (концентрованої) протягом 1...2 хвилин. Надлишок кислоти висушується фільтрувальним папером. Травлене місце змочується краплею  $\text{HCl}$  (1:1), а потім із протилежних ділянок краплі вносяться в невеликій кількості спочатку крупинка тонко розмеленого  $\text{KI}$ , а потім  $\text{CsCl}$ . Утвориться осадок цегляно-червоного кольору комплексної солі сурми, хлористого цезію та йоду. Аналогічну реакцію дає вісмут.

**Плівковий аналіз** є важливим мікрохімічним методом при діагностиці багатьох мінералів, особливо карбонатів. При виконанні діагностичного травлення на полірованій поверхні рудних мінералів формуються специфічні плівки іризації, які використовуються при діагностиці рудних мінералів.

Кольорові плівки на поверхні рудних мінералів також можна одержати, якщо на протравлену поверхню нанести краплю реагенту, що утворить із певним хімічним елементом даного мінералу кольоровий осадок. Формування кольорових плівок на поверхні мінералів відбувається внаслідок адсорбування на поверхні мінералу кольорових іонів з реактиву.

Наприклад, кальцит при зануренні в молярний розчин азотнокислої міді адсорбує блакитний окис міді, арагоніт адсорбує сіль  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  синьо-фіолетові кольори [21].

Профарбовування з метою діагностики карбонатів краще проводити на пришліфованих поверхнях зразків або полірованих шліфів, що дозволяє встановити площинний розподіл і відносний зміст мінералів.

**Краплинний метод** дозволяє відкривати хімічний елемент у краплі розчину, що випробовується, за характерною кольоровою плямою на фільтрувальному папері при додаванні краплі проявника. Цей метод найбільш чутливий у мікрохімічному аналізі, що обумовлено абсорбуючими властивостями фільтрувального паперу. На фільтрувальному папері збільшується концентрація розчиненої речовини в певних ділянках краплинної плями – у центрі або на периферії.

*Аналіз проводять у такий спосіб:*

1. Розчин, що випробовується, одержують шляхом розчинення мінералу на полірованому шліфі або в крупинках на предметному склі в краплі розчинника (мінерал + розчинник). При цьому обов'язково дотримується рекомендована експозиція травлення мінералу розчинником.

2. Краплю розчину, що випробовується, переносять на фільтрувальний папір (фільтрувальний папір + випробуваний розчин). З поверхні шліфа краплю розчину, що випробовується, знімають, промокаючи фільтрувальним папером. Із предметного скла краплю переносять піпеткою. Величина плями повинна бути не більше 2...3 мм у діаметрі. Пляма повинна розташовуватися в центрі листочка паперу.

3. Для відкриття елемента у розчині, що випробовується, у центр краплинної плями на фільтрувальному папері ставлять піпетку із проявником. Утвориться кольорова пляма в центрі або кільце на периферії краплинної плями, що вказує на присутність елемента, що діагностується.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Для чого застосовують мікрохімічні методи досліджень?
2. Охарактеризуйте види реактивів для виконання якісного мікрохімічного аналізу.
3. Що таке діагностичне травлення мінералів?
4. Яких основних рекомендацій варто дотримуватися при проведенні діагностичного травлення?
5. В чому полягає суть кристалоскопічного аналізу?
6. Охарактеризуйте методику проведення краплинного аналізу.
7. Для чого застосовують плівковий мікрохімічний аналіз?

## **РОЗДІЛ 5. ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНИЙ ТА ПАРАГЕНЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РУД**

### **НАВЧАЛЬНІ ЦІЛІ П'ЯТОГО РОЗДІЛУ – ВИВЧЕННЯ НАСТУПНОГО МАТЕРІАЛУ:**

1. Визначення текстур та структур руд.
2. Генетична класифікація текстур руд.
3. Принципи класифікації структур руд.
4. Характерні особливості мікроструктур рудних мінеральних агрегатів різних генетичних груп.
5. Парагенезис та парастерезис мінералів.
6. Етапи, стадії мінералізації, генерації мінералів.
7. Послідовність мінералоутворення в рудах.

### **НА ОСНОВІ НАБУТИХ ЗНАТЬ ЧИТАЧ ПОВИНЕН ВМІТИ:**

1. Охарактеризувати поняття «структура руд», «текстура руд».
2. Вміти визначати типи мікроструктур руд за характерними ознаками різних генетичних груп.
3. Вміти визначати парагенетичні мінеральні асоціації в рудах.
4. Знати типи структур, які характеризують одночасне та послідовне утворення мінералів в агрегаті.
5. Вміти розрізняти поняття «етап рудоутворення», «стадія рудоутворення».
6. Знати характерні ознаки виділення різних генерацій мінералів.
7. Проводити визначення послідовності мінералоутворення в рудах.

*Структура руди* – це будова мінерального агрегату, обумовлена формою, розмірами та способом зрощень мінеральних зерен в агрегаті. Морфологічною одиницею структури є мінеральне зерно.

*Текстура* – це будова руди, обумовлена формою, розміром і способом зрощень мінеральних агрегатів. Морфологічною одиницею текстури є мінеральний агрегат.

Відповідно до умов утворення текстури та структури поєднуються в генетичні групи. Форма мінеральних виділень визначає морфологічні типи структур.

Перша класифікація структур руд і визначення термінів «структура» та «текстура» були розроблені І.Ф. Григор'євим, що називав структурами зрощення мінералів, помітні під мікроскопом, а текстурами – зрощення, які спостерігаються макроскопічно.

Пізніше А.Г. Бетехтіним були розроблені перші генетичні класифікації структур і текстур руд.

Згідно із цими класифікаціями ***структури підрозділялися на 5 генетичних груп:***

1. структури кристалізації з рідких розплавів і розчинів;
2. структури розпаду твердих розчинів;
3. структури перекристалізації та розкристалізації речовини у твердому стані;
4. катакlastичні структури;
5. структури руд осадового походження.

***Текстури підрозділялися на 3 генетичні групи:***

1. текстури ендегенних руд;
2. текстури екзогенних руд;
3. текстури метаморфогенних руд.

Надалі на основі класифікації А.Г. Бетехтіна були запропоновані класифікації С.А. Вахромеєва, С.А. Юшко та багатьох інших дослідників.

М.П. Ісаєнко у 1964, 1975, 1983 рр. опубліковані визначники текстур і структур з атласом, що містить мікрофотографії найголовніших типів структур і текстур руд.

У класифікаціях структур руд, розроблених на основі сучасних досліджень, враховані генетичні групи, що відповідають умовам формування структур з відповідними типами мінеральних виділень (мінеральні зерна, метазерна, бластозерна, класти та колоїдна речовина).

Також наведений підрозділ про первинні (що характеризують процес формування мінеральних виділень) і вторинні структури (що характеризують зміну рудної речовини в процесі перекристалізації при розпаді твердих розчинів, дробленні, заміщенні) [21, 23].

## 5.1. Структури кристалізації

Для даної генетичної групи структур характерною рисою є зерниста будова мінеральних агрегатів, добре помітна як макроскопічно, так і під мікроскопом. Прихованокристалічні форми мінеральних виділень практично не зустрічаються.

Головні морфологічні типи структур даної групи – ідіоморфнозерниста, гіпідіоморфнозерниста, алотриоморфнозерниста, графічна, субграфічна, сидеронітова, порфірова, пойкилітова.

*Ідіоморфнозерниста (панідіоморфнозерниста) структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому майже всі мінерали мають вельми досконалу кристалічну форму – *евгедральну* або *ідіоморфну* (рис. 5.1). Ідіоморфнозерниста структура характерна для мінеральних утворень, кристалізація яких відбувалася у відкритих порожнинах і тріщинах.

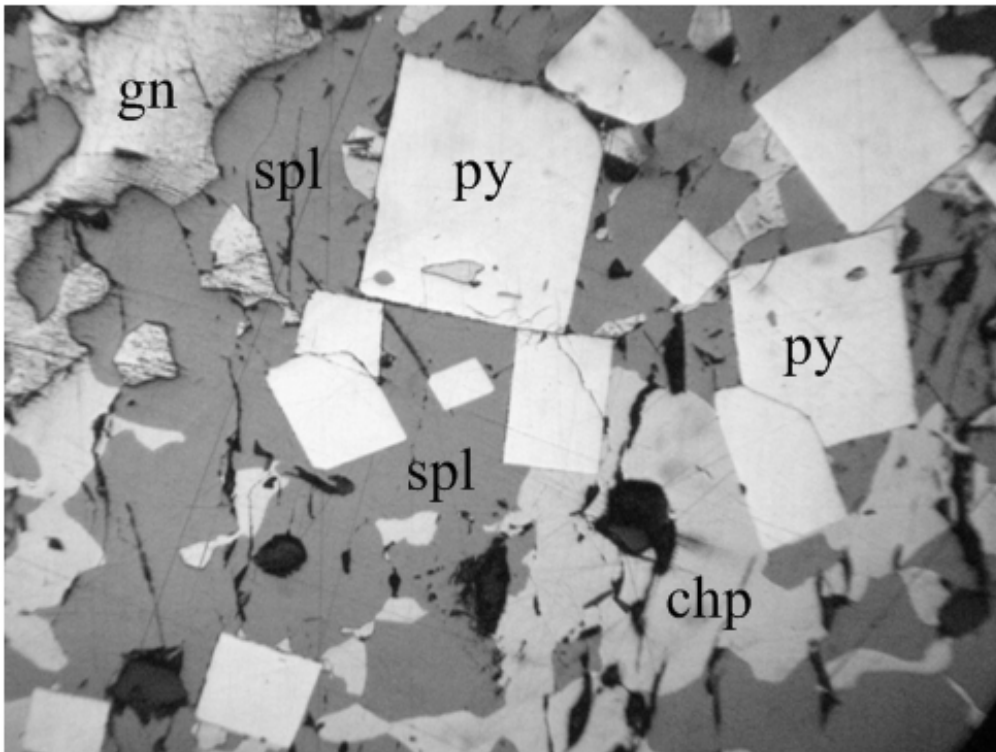


Рис. 5.1. Панідіоморфний пірит (py) на фоні алотриоморфних утворень халькопіриту (chr), галеніту (gn) та сфалериту (spl). Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

*Гіпідіоморфнозерниста структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому зерна мінералів мають різний ступінь ідіоморфізму. Зерна мінералів, що сформувалися в першу чергу, мають ідіоморфний обрис, а зерна мінералів, які кристалізувалися пізніше – алотриоморфні обмеження (рис. 5.2). Дана структура особливо характерна для руд хромітових і колчеданних родовищ.

*Сидеронітова структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому рудні мінерали виповнюють проміжки між зернами силікатних мінералів, немовби цементуючи останні.

Дана структура характерна для руд магматичного генезису та обумовлена більш пізнім формуванням рудних мінералів відносно силікатних. При цьому в силікатних мінералів, які виділилися раніше, відзначається наявність корозійних границь (рис. 5.3).

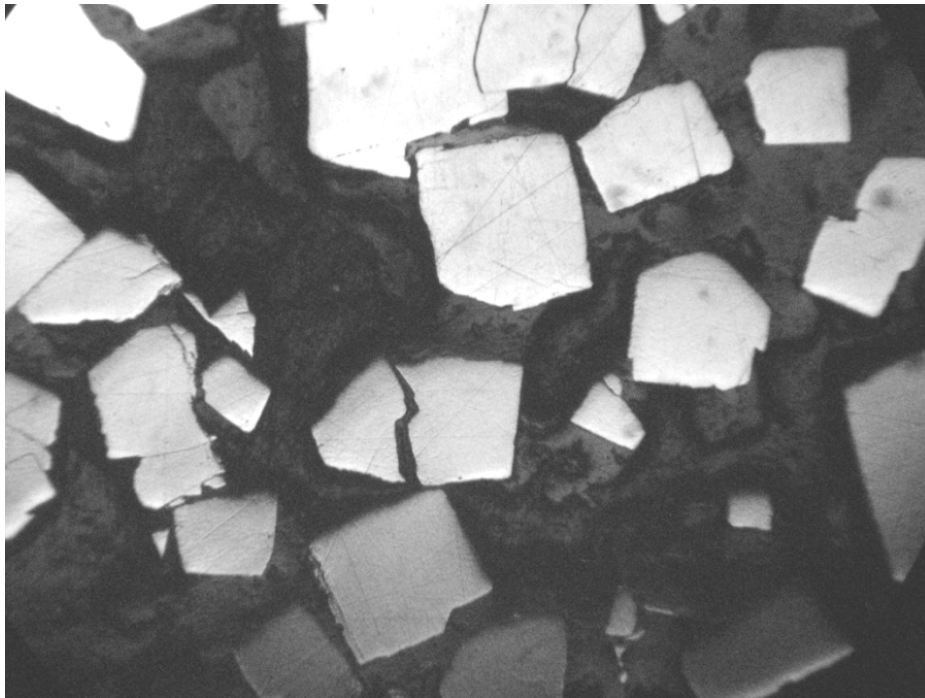


Рис. 5.2. Гіпідіоморфні зерна піриту. Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $108^{\times}$

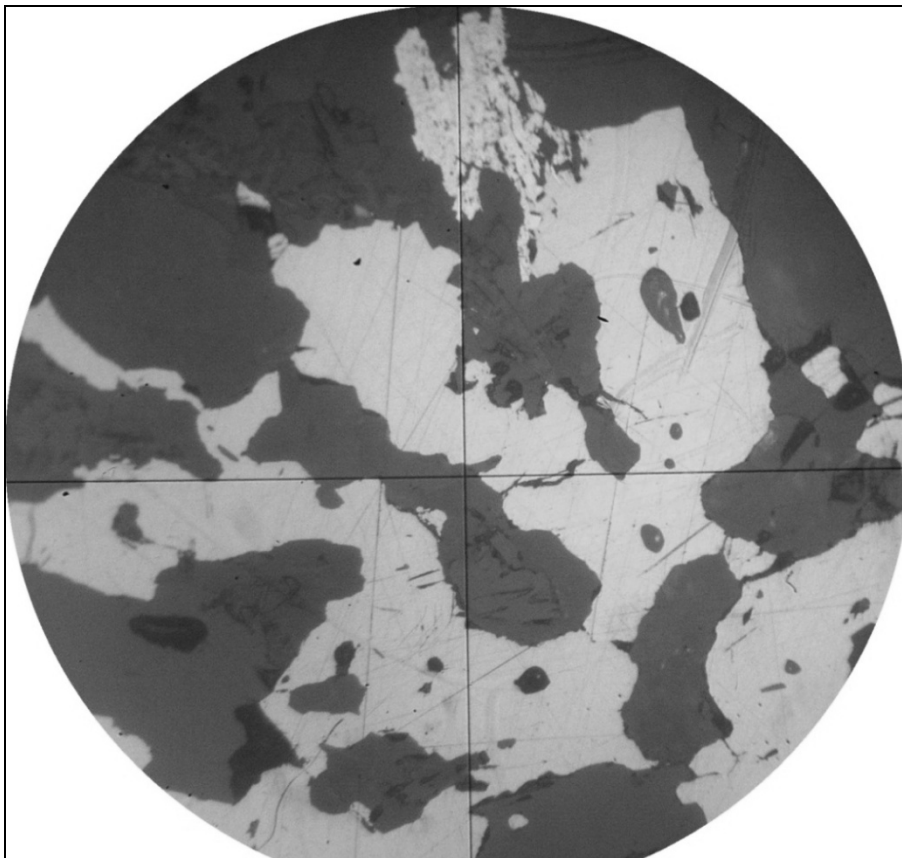


Рис. 5.3 Сидеронітова структура піротину, що виповнює міжзерновий простір нерудних мінералів. Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $108^{\times}$

*Порфіроподібна структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому мінерали, які виділилися раніше, значно крупніші за розміром, ніж мінерали більш пізнього часу кристалізації (рис. 5.4). При цьому ранні за часом кристалізації мінерали мають корозійні обмеження.

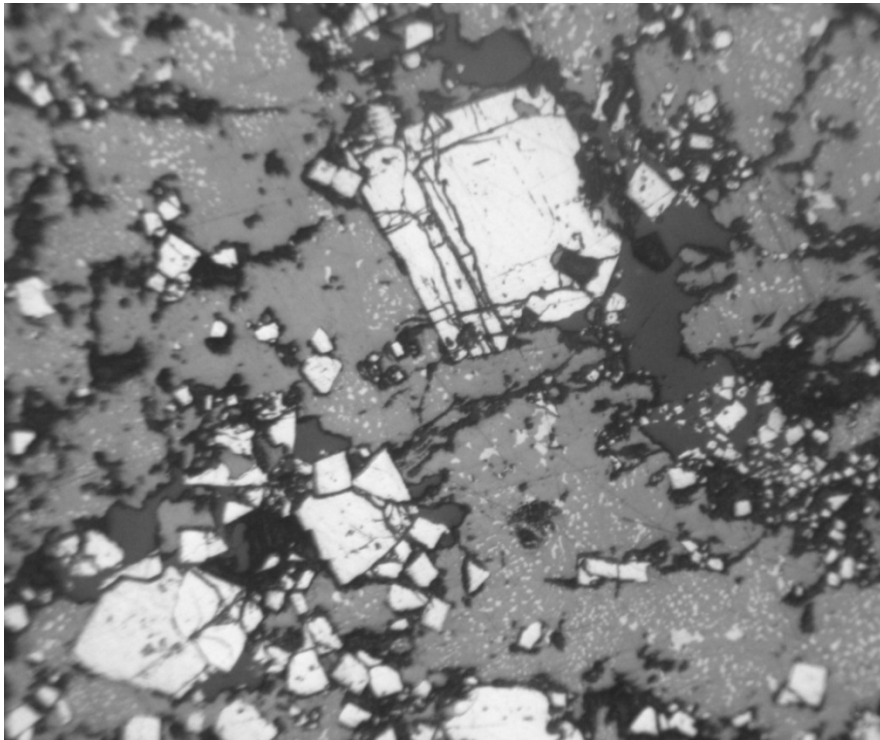


Рис. 5.4. Порфіроподібні зерна піриту. Світло відбите, ніколи ||, збільш.  $108^{\times}$

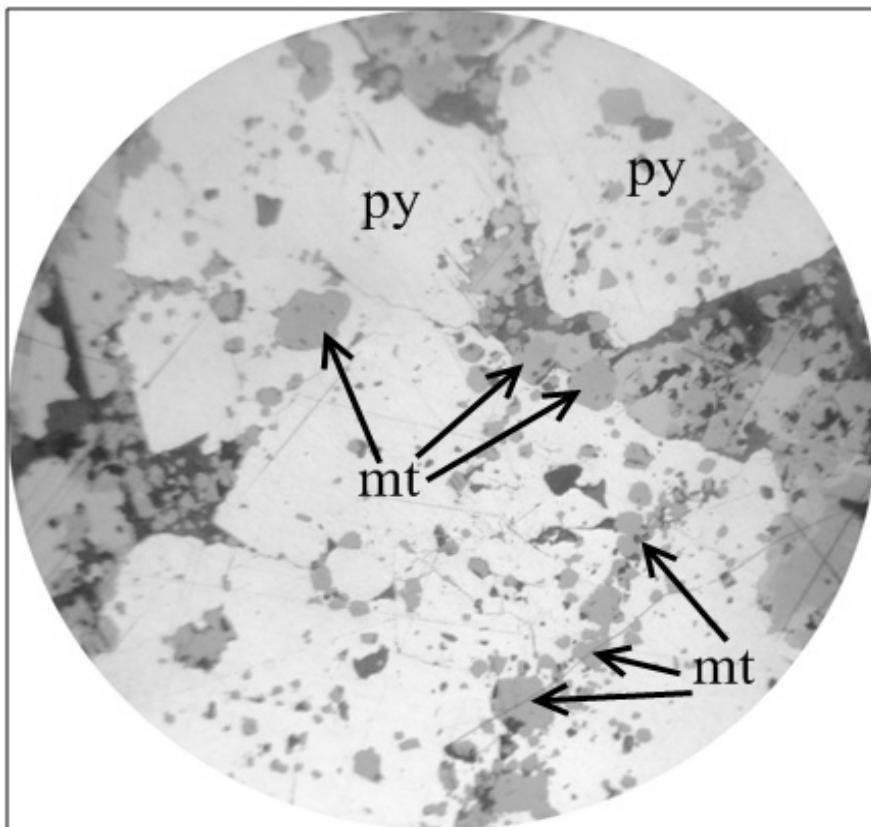


Рис. 5.5. Пойкілітова структура (дрібні вклучення магнетиту (mt) в кристалах піриту (py))  
Світло відбите, ніколи ||, збільш.  $90^{\times}$

*Пойкилітова структура* характеризується безладним розташуванням (проростанням) дрібних зерен одного рудного мінералу в більших зернах іншого рудного мінералу (рис. 5.5).

*Алотриоморфнозерниста структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому присутні зерна неправильної форми, що взаємно проростають з утворенням звивистих міжзернових границь (рис. 5.6). Дана структура характеризує одночасне виділення мінералів.

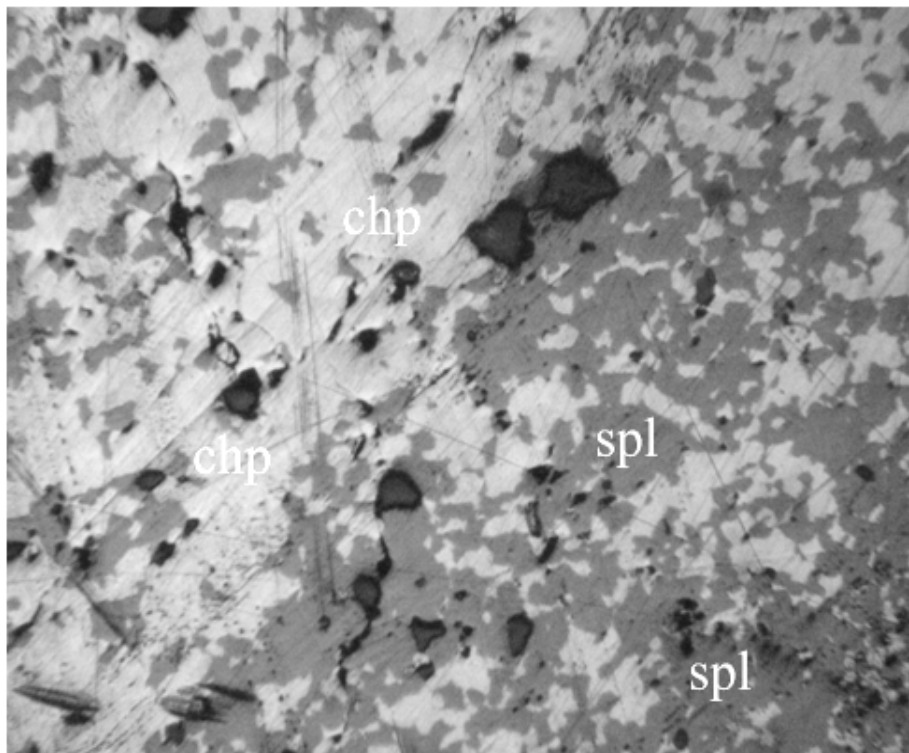


Рис. 5.6. Алотриоморфні утворення халькопіриту (chp) та сфалериту (spl). Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

*Графічна структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому відзначається взаємне проростання двох рудних мінералів за типом структури «письмового граніту».

Дана структура спостерігається в мінеральних агрегатах, що сформувалися при кристалізації за типом евтектики.

*Прихованокристалічна (гелева) структура* формується при різкому переохолодженні або пересиченні рудоносних розчинів, з яких утворюються прихованокристалічні та колоїдні маси (рис. 5.7). Надалі, у процесі метаморфізму колоїди піддаються перекристалізації, тому в рудах спостерігаються рідко.

*Субграфічна структура* є різновидом графічної. Для даної структури характерна наявність окремих, рідких вrostків одного рудного мінералу в іншому, що нагадують за формою та розташуванням графічну структуру. Мінерал, що утворює вrostки, знаходиться в значно меншій кількості.

Дана структура характерна для борніту та халькопіриту, сфалериту та галеніту.



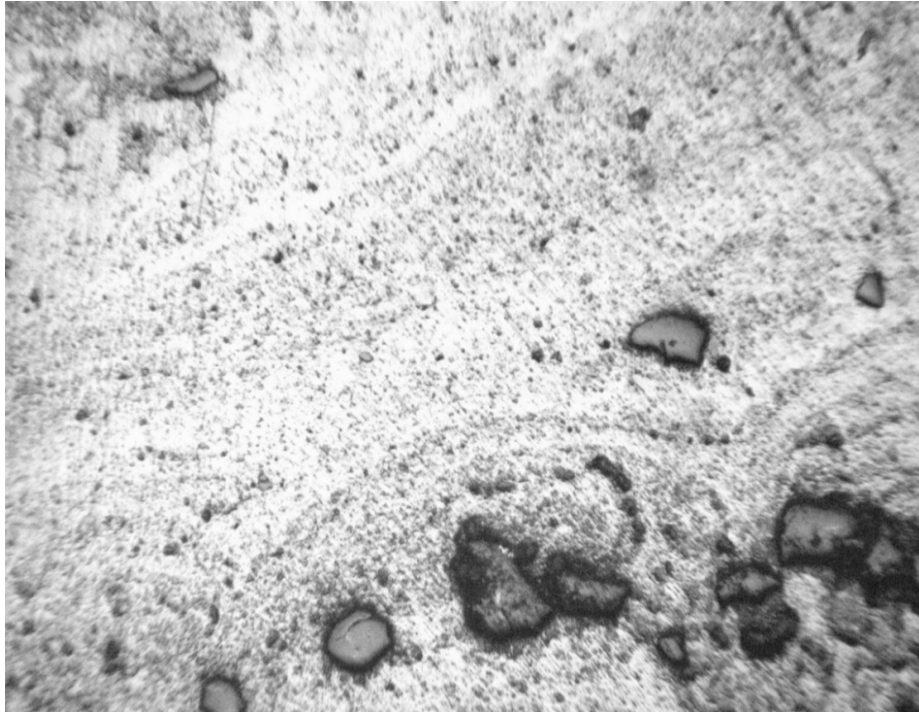


Рис. 5.7. Прихованокристалічні утворення піролюзиту та псиломелану. Світло відбите, ніколи ||, ув.90<sup>X</sup>



Рис. 5.8. Субграфічна структура (голчасті та мірмекітоподібні виділення фериту в технічному камені). Світло відбите, ніколи ||, збільш. 90<sup>X</sup>

## 5.2. Структури заміщення (корозійні)

Структури даної групи поширені в рудах ендегенних та екзогенних родовищ. Дослідження структур заміщення має велике значення для визначення генезису руд, оскільки дозволяє визначити стадійність

рудовідкладання та з'ясувати послідовність виділення рудних і жильних мінералів.

У даній групі розглядаються тільки ті зрощення мінералів, які характеризуються ясно вираженим візерунком заміщення або роз'їдання (корозії).

*Корозійна структура* характеризує будову мінеральних агрегатів, у яких відзначається проникнення одного мінералу в інший, внаслідок чого мінерал, який заміщує, здобуває неправильні обриси з нерівними, зазубреними краями та бухтоподібними стінками (рис. 5.9).

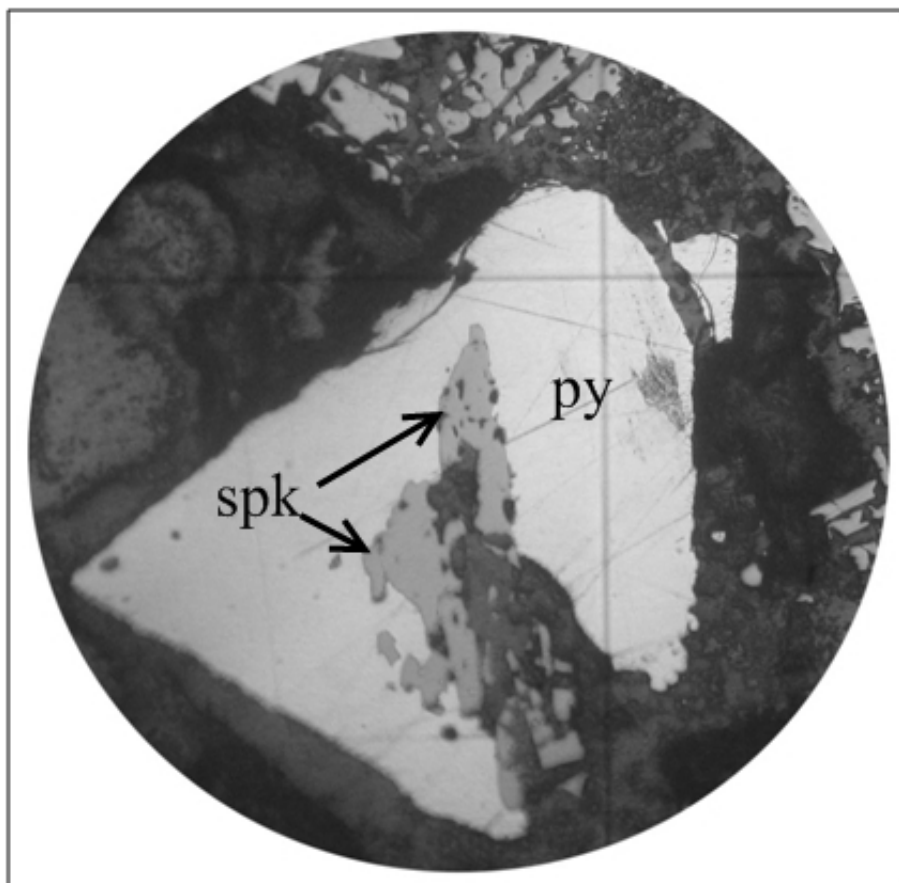


Рис. 5.9. Заміщення кристала піриту спекуляритом (spk) (ясно-сірий) з утворенням затокоподібних (бухтоподібних) обмежень із боку піриту (py). Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

*Структура перетинань* характеризується наявністю жилок мінералу, що заміщує, у мінералі, що заміщається. Жилки, як правило, «гіллясті», звивисті та непаралельні одна одній (рис. 5.10).

*Структура залишків від заміщення* характеризує будову мінерального агрегату, у якому спостерігаються «роз'їдені» зерна заміщених мінералів зі збереженими реліктами вихідних мінералів, сконцентрованих зазвичай в центрі зерна. При цьому зберігається загальне орієнтування реліктів (рис. 5.11)

*Скелетна структура* формується у тому випадку, якщо процес заміщення мінералу йде від центра до периферії. При цьому зовнішні грані зберігаються, формуючи кристалічний скелет зерна (рис. 5.12, 5.13).

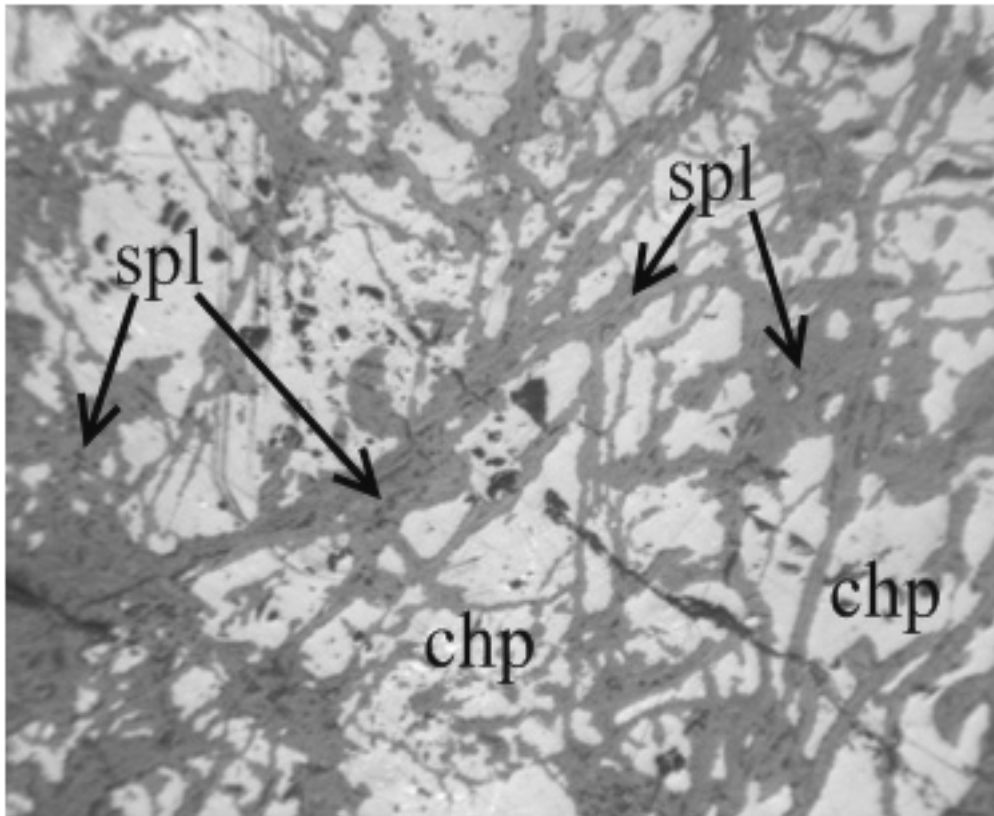


Рис. 5.10. Заміщення халькопірита сфалеритом, що утворює різнонаправлені жилки. Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $90^{\times}$

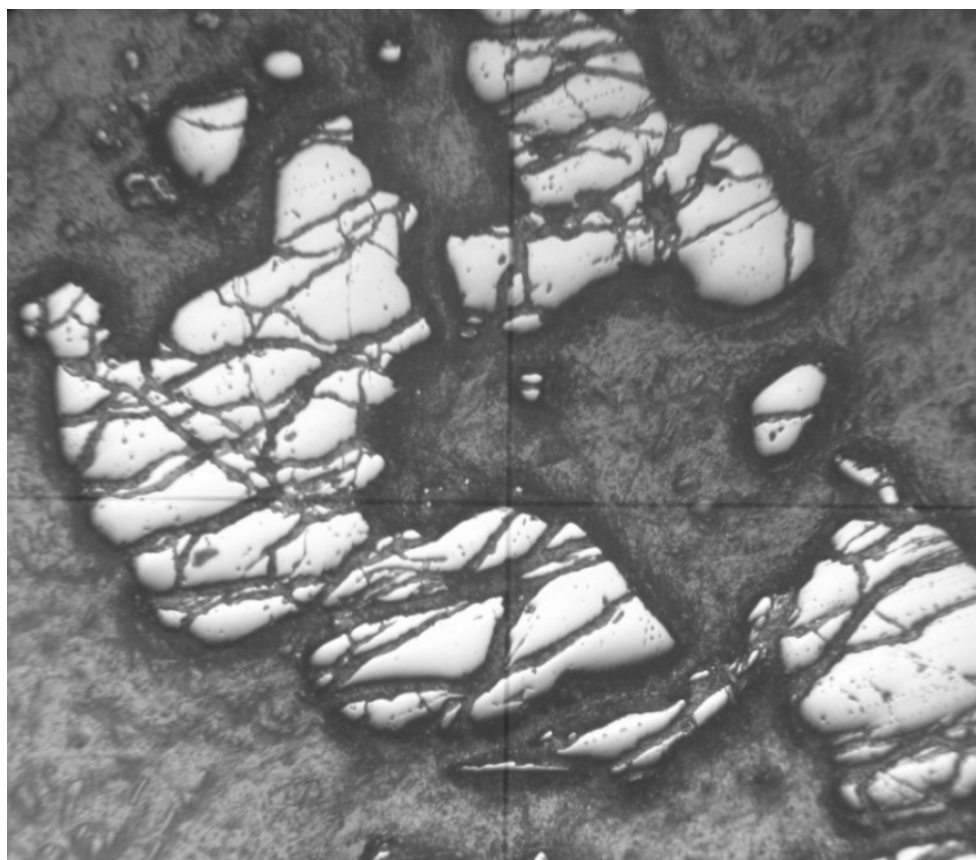


Рис. 5.11. Структура «залишків від заміщення» – релікти хромшпінелевих зерен, заміщених серпентином. Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $108^{\times}$

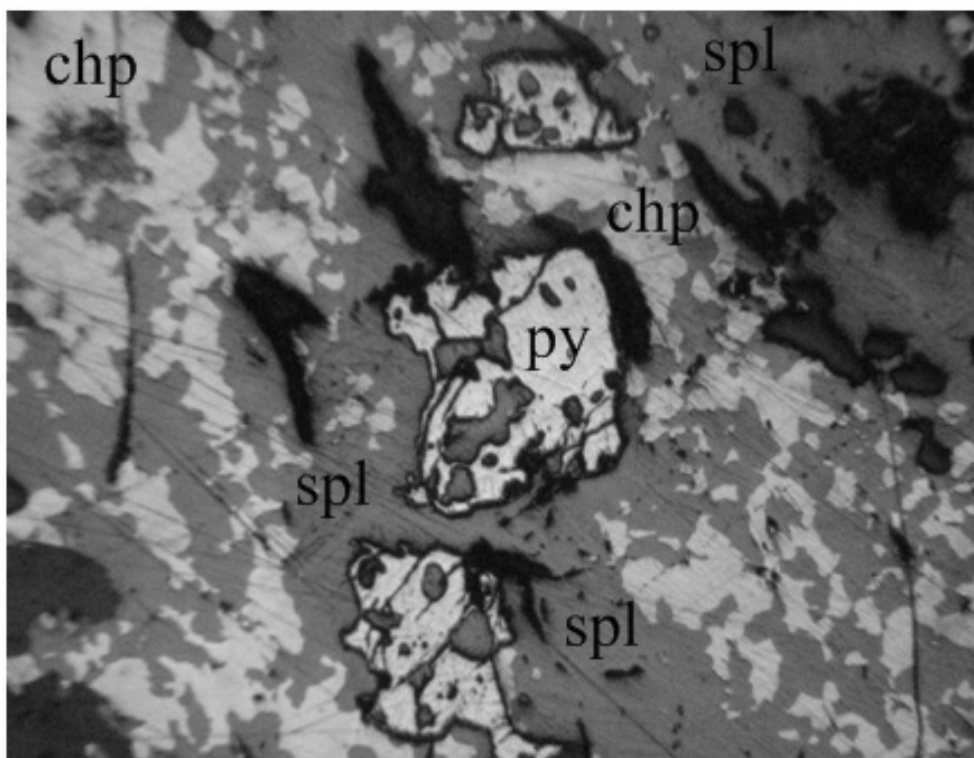


Рис. 5.12. Скелетна структура – заміщення піриту сфалеритом зі збереженням контурів зерен піриту. Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $108^{\times}$



Рис. 5.13. Футляроподібна структура (різновид скелетної структури) зерен олівіну, заміщеного по контурах магнетитом при серпентинізації. Світло минаюче, ніколі ||, збільш.  $90^{\times}$

*Гратчаста структура* характерна для мінеральних агрегатів, у яких проникнення мінералізованого розчину, що заміщає, відбувалося уздовж пересічних напрямків спайності вихідного мінералу (рис. 5.14).

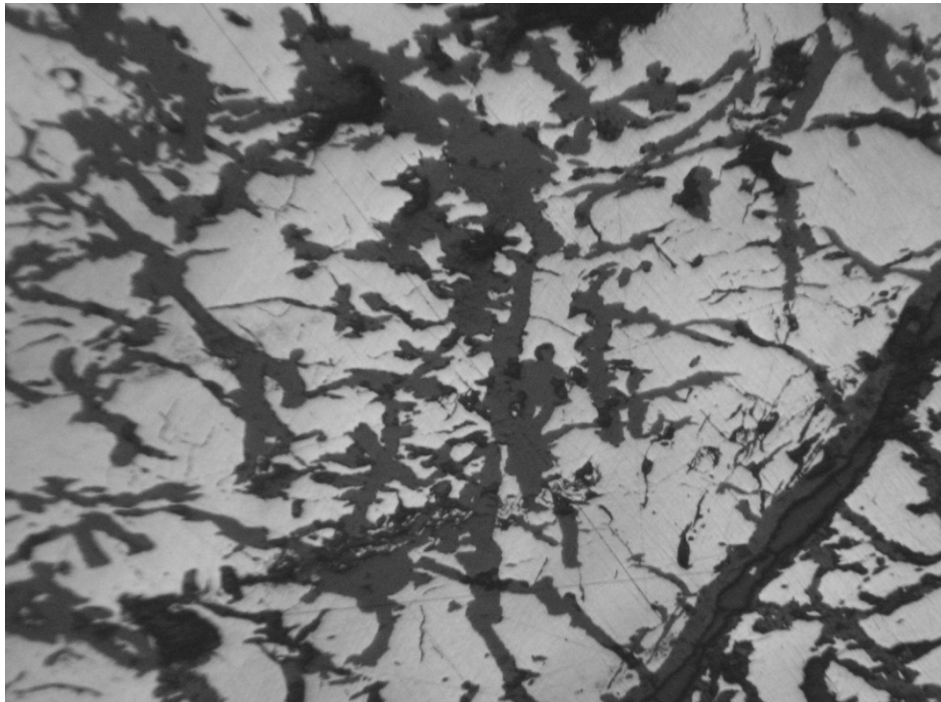


Рис. 5.14. Гратчаста структура заміщення в сполученні з гетерокластичною структурою дроблення. Світло відбите, ніколі  $\parallel$ , збільш.  $90^{\times}$

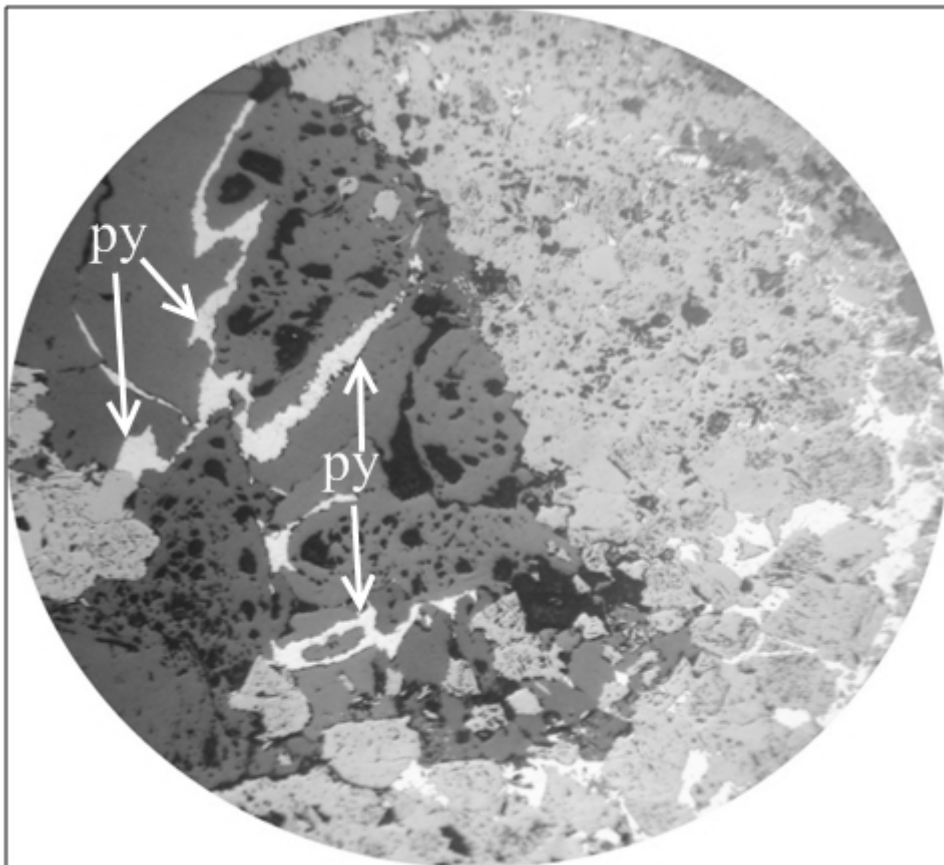


Рис. 5.15. Петельчаста структура заміщення (виділення піриту (py) серед нерудних мінералів). Світло відбите, ніколі  $\parallel$ , збільш.  $90^{\times}$

*Цементна структура* формується внаслідок заміщення цементу піщаників рудоносними розчинами. Особливо сприятливими для заміщення є піщаники з карбонатним цементом.

*Петельчаста структура* характеризується локалізацією одного мінералу за периферією зерен іншого мінералу (рис. 5.15).

### 5.3. Структури метасоматичного заміщення

Термін «*метасоматоз*» (синонім метасоматизм) був уведений в 1877 році К. Науманом-Киркелом для пояснення процесу формування мінеральних псевдоморфоз. Згодом визначення процесу метасоматозу було доповнено В.М. Гольдшмідтом, В. Ліндгреном, П. Есколою, Д.С. Коржинським і багатьма іншими дослідниками.

В даний час під *метасоматозом* прийнято розуміти всяке заміщення одних мінеральних асоціацій іншими зі зміною хімічного складу системи, при якому розчинення старих мінералів і відкладення нових відбувається майже одночасно, при цьому породи під час заміщення зберігають твердий стан.

Поряд із цим під метасоматозом часто розуміють один зі способів відкладення мінеральної речовини в результаті заміщення вихідних порід зі збереженням їхнього твердого стану та при сталості обсягу порід, що заміщаються.

Метасоматичне заміщення протиставляється секретійному способу відкладення мінеральної речовини при заповненні відкритих порожнин. Як правило, обидва способи комбінуються. Метасоматичні процеси відбуваються під впливом розчинів – рідких і газоподібних. Шляхи просування розчинів у породі – дрібні пори, контакти між зернами та ін. Якщо новостворений мінерал при заміщенні здобуває властиві йому правильні кристалічні обмеження, то він називається *метакристом* (рис. 5.19, 5.20).

Морфологічною одиницею структур метасоматозу є метазерно. Форма метазерен залежить від сили та швидкості кристалізації новостворених при метасоматозі мінералів. Структури даної групи визначаються як метазернисті.

Характерна риса метазернистих структур – нерівномірнотзерниста будова мінерального агрегату, а також наявність у метазернах реліктів заміщених мінералів.

Структури метасоматичного заміщення зустрічаються в рудах гідротермально-метасоматичного генезису, у рудах зони окислювання та вторинного сульфідного збагачення.

*Ідіоморфнометазерниста структура* формується в тому випадку, якщо метазерна новостворених при метасоматозі мінералів мають велику силу та швидкість кристалізаційного росту.

Метазерна цього типу структури мають вигляд кристалів, що відповідають сингонії даного мінералу (рис. 5.16).

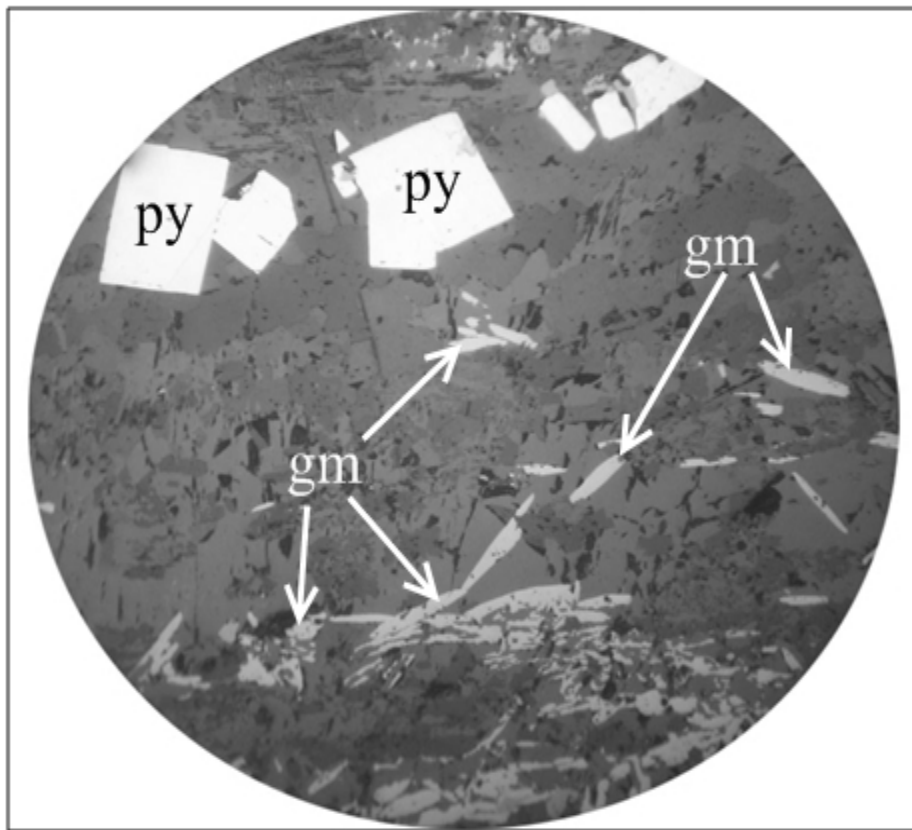


Рис. 5.16. Ідіоморфнометазерна структура піриту (py) в сполученні з гіпідіоморфнометазернистою структурою голчастого гематиту (gm).  
Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

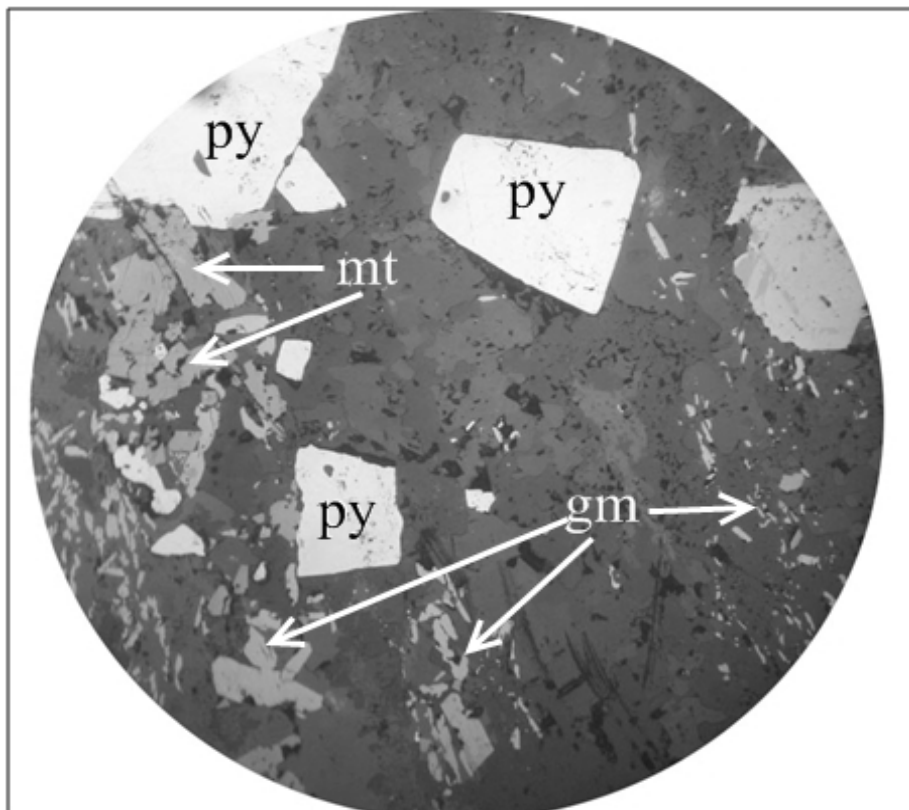


Рис. 5.17. Неодноріднозерниста будова метасоматичної породи, у якій спостерігаються метакристали піриту (py), а також гіпідіоморфнометазернисті та алотриоморфнометазернисті агрегати магнетиту (mt) та гематиту (gm) (ясно-сірий). Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

При цьому окремі метакристали мають рівний, без слідів корозії, обрис, містять релікти заміщених мінералів, характеризуються часто зональною будовою та підвищеною мікротвердістю.

*Гінідіоморфнометазерниста структура* характерна для мінеральних агрегатів, у яких спостерігаються зростки ідіоморфних та алотриоморфних метазерен (рис. 5.17).

*Алотриоморфнометазерниста структура* характерна для мінеральних агрегатів, у яких метазерна мають невелику силу кристалізаційного росту. У таких мінеральних агрегатах спостерігаються метазерна неправильної форми, з рівними, без корозії, обмеженнями та численними включеннями реліктів заміщених мінералів (рис. 5.17).

*Графічні та субграфічні метазернисті структури* аналогічні графічним структурам кристалізації, але відрізняються неоднорідною зернистістю та наявністю реліктів заміщених мінералів.

*Афанітова метазерниста структура* характеризує такий тип будови мінеральних агрегатів, у якому новостворені метазерна окремих мінералів не розрізняються за допомогою мікроскопа.

На формування даної структури в результаті метасоматозу вказує тільки наявність у мінеральному агрегаті включень заміщених мінералів.

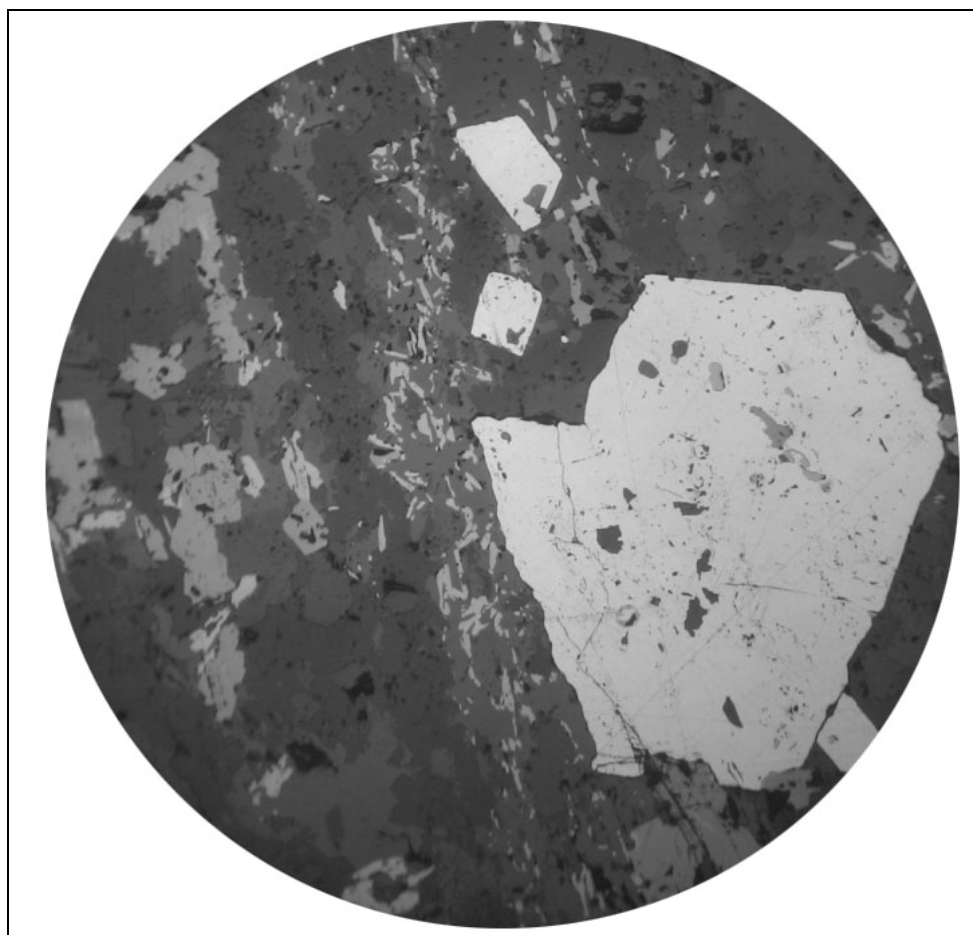


Рис. 5.18. Метакристали піриту з реліктами заміщених мінералів.  
Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>



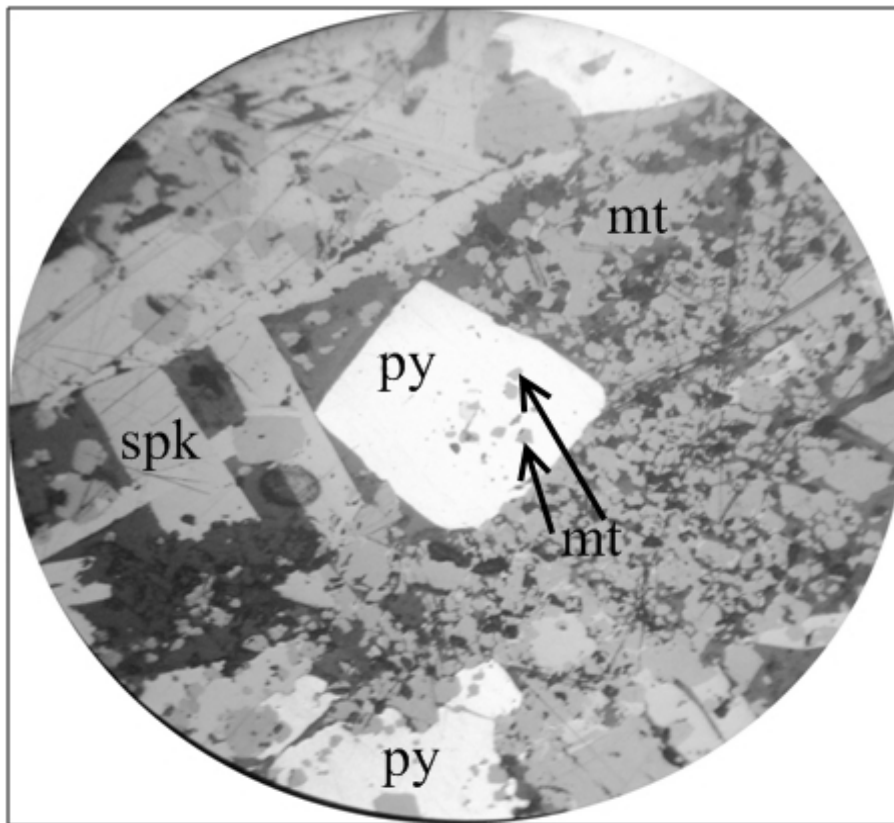


Рис. 5.19. Метакристали піриту (py) із включеннями магнетиту (mt) та подовжені метакристали спекуляриту (spk) на фоні алотриоморфних дрібних магнетитових зерен (mt). Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $90^{\times}$

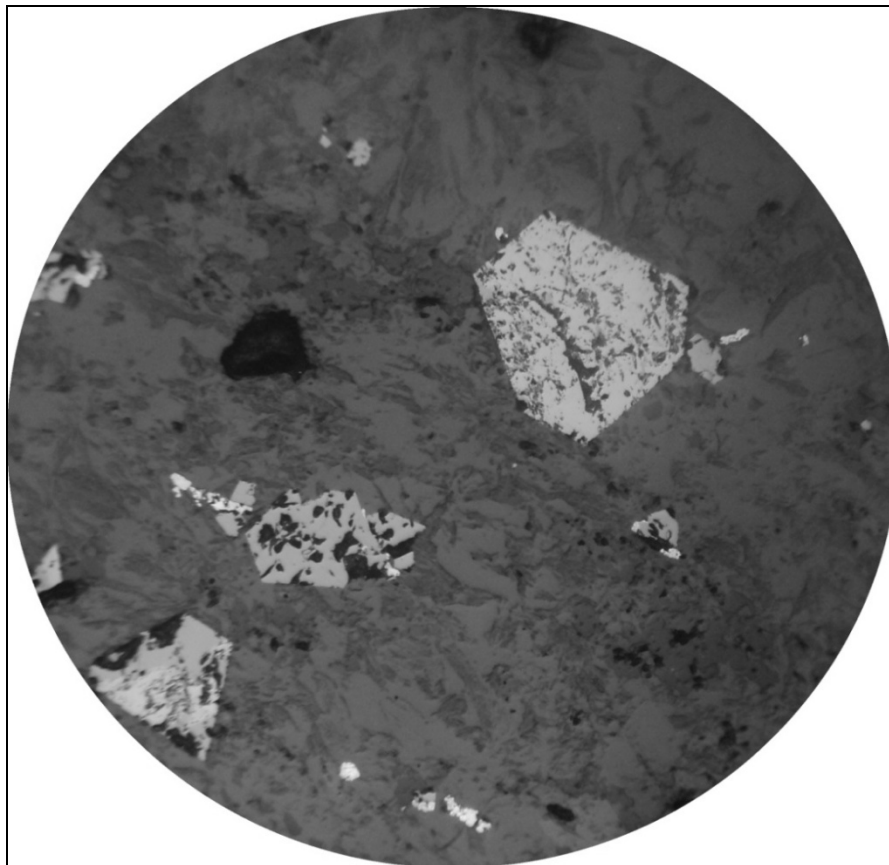


Рис. 5.20. Метакристали магнетиту з релітками нерудних мінералів. Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $90^{\times}$

#### 5.4. Структури дроблення (катакластичні)

Дана генетична група поєднує структури, що сформувались у процесі динамометаморфізму та механічного вивітрювання руд.

Морфологічною одиницею катакластичних структур є класти (осколки) мінеральних зерен (зерен кристалів, метазерен, бластозерен) і колоїдної речовини. Структури даного типу найбільш характерні для руд метаморфічного генезису.

*Структура зминання* формується при впливі тиску на м'які та ковкі мінерали, які в результаті динамометаморфізму піддаються пластичним деформаціям у вигляді зминання та розлистування мінеральних зерен. Такі структури в поляризованому світлі при схрещених ніколях спостерігаються у молібденіту, антимоніту (рис. 5.21), а за допомогою структурного травлення можуть бути виявлені у халькопіриту, сфалериту. В галеніті структура зминання легко розпізнається за розташуванням трикутників викрашування.

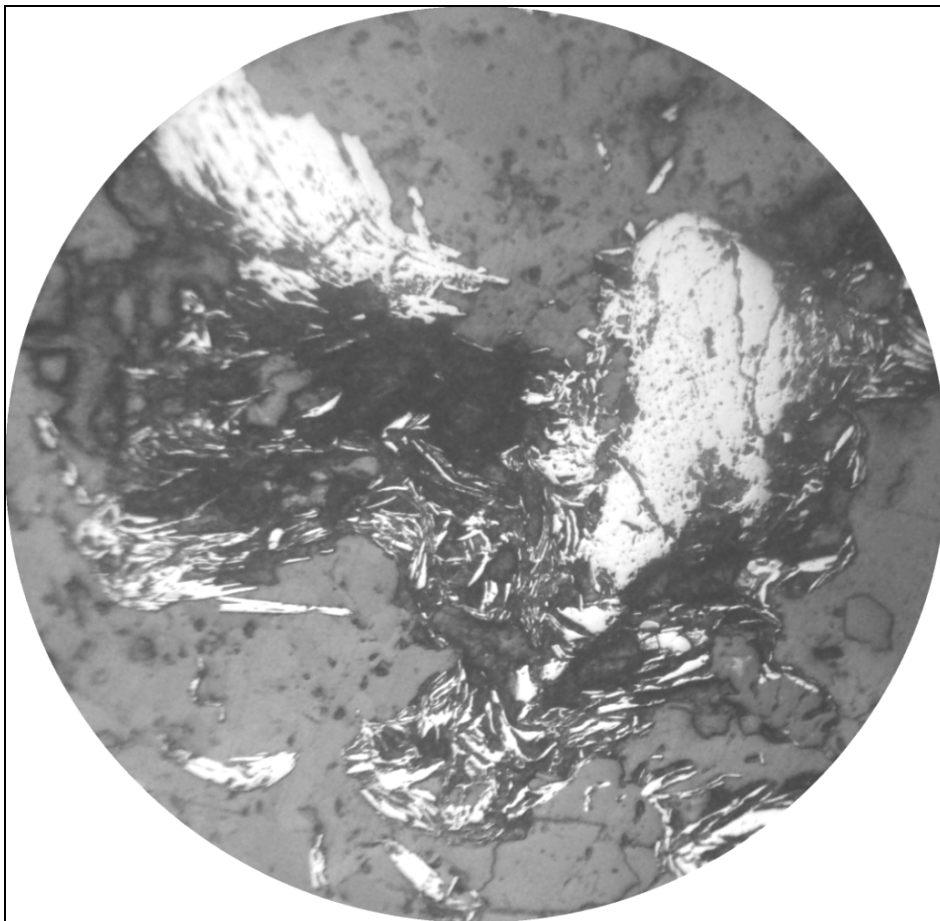


Рис. 5.21. Структура зминання у агрегатів молібденіту (вигнуті стрічкові агрегати). Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

*Структура дроблення* характерна для мінеральних агрегатів, у складі яких присутні крихкі та тверді мінерали, розбиті мережею мікротріщин на окремі осколки (класти).

*Гранокластична структура* характеризується рівновеликими розмірами уламків у мінеральному агрегаті (рис. 5.22).

*Порфірокластична структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому присутні великі уламки на фоні мілкороздрібленої маси.

Структурою дроблення, яка зустрічається найбільш часто, є *гетерокластична*, для якої характерне сполучення уламків різної величини в мінеральному агрегаті (рис. 5.23).



Рис. 5.22. Гранокластична структура дроблення зерен хроміту.  
Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $90^{\times}$

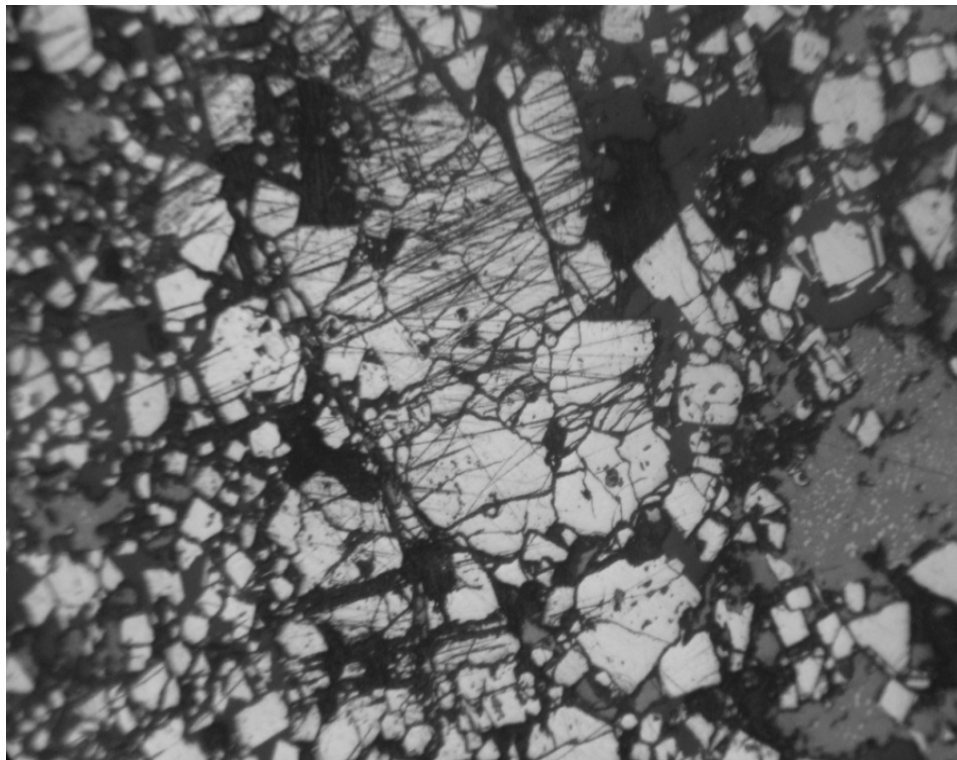


Рис. 5.23. Гетерокластична структура дроблення піриту.  
Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $90^{\times}$

## 5.5. Структури розпаду твердого розчину

Формування структур даної групи відбувається в результаті зміни фізико-хімічних умов, що існували в момент формування руди. У нових умовах ранні складні мінеральні з'єднання стають нестійкими та розпадаються на більш прості мінерали. Таким чином, частина компонентів, що входять до складу первісних рудних мінералів у вигляді твердого розчину або ізоморфної домішки при спаді температури відокремлюється у вигляді самостійних з'єднань.

*Структури розпаду твердих розчинів (РТР) – це тонкі, закономірні проростання мінералів, які спостерігаються під мікроскопом при сильному збільшенні.* Вивчення даних структур має велике наукове значення, оскільки вони формуються в строго певному діапазоні температур і можуть бути використані як геологічні термометри.

*Графічна та субграфічна структури РТР практично не відрізняються від структур кристалізації.* Однак їх можна визначити при вивченні парагенезисів мінералів, оскільки дані структури характерні для певної групи мінералів, що утворюють тверді розчини в агрегаті. Найбільш типові ці структури для розпаду твердого розчину: халькопірит + борніт, галеніт + шапбахіт, халькозин + штрмейрит, халькозин + ковелін (по С.А. Юшко) та ін.

*Емульсійна структура* характеризується виділенням дрібних каплеподібних зерен одного мінералу в основній масі іншого (рис. 5.24). Дана структура утворюється при різкому зниженні температури. Найбільш характерна для наступних пар мінералів: халькопірит у сфалериті, піротин у сфалериті, халькопірит у станині та ін.

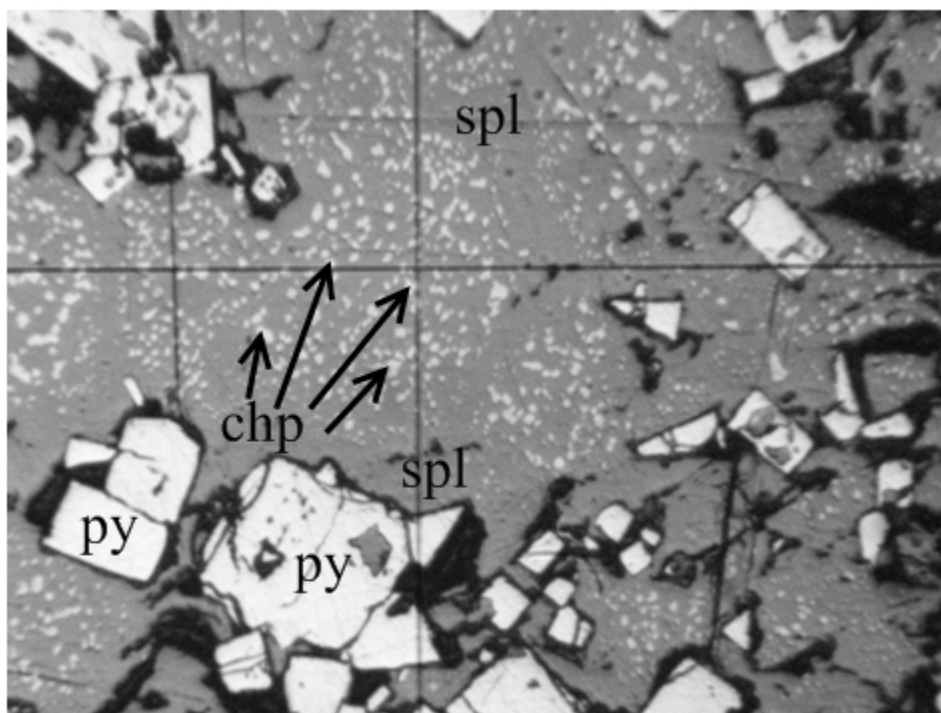


Рис. 5.24. Емульсійна структура розпаду халькопіриту (chr) в сфалериті (spl) (дрібні каплеподібні виділення) у сполученні з гіпідіоморфнометазернистою структурою піриту (py). Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

*Пластинчаста структура* характеризується орієнтованим розташуванням пластинчастих вrostків одного мінералу в іншому (рис. 5.25, 5.26). При цьому пластинчасті відокремлення одного мінералу приурочені до напрямків спайності іншого мінералу.

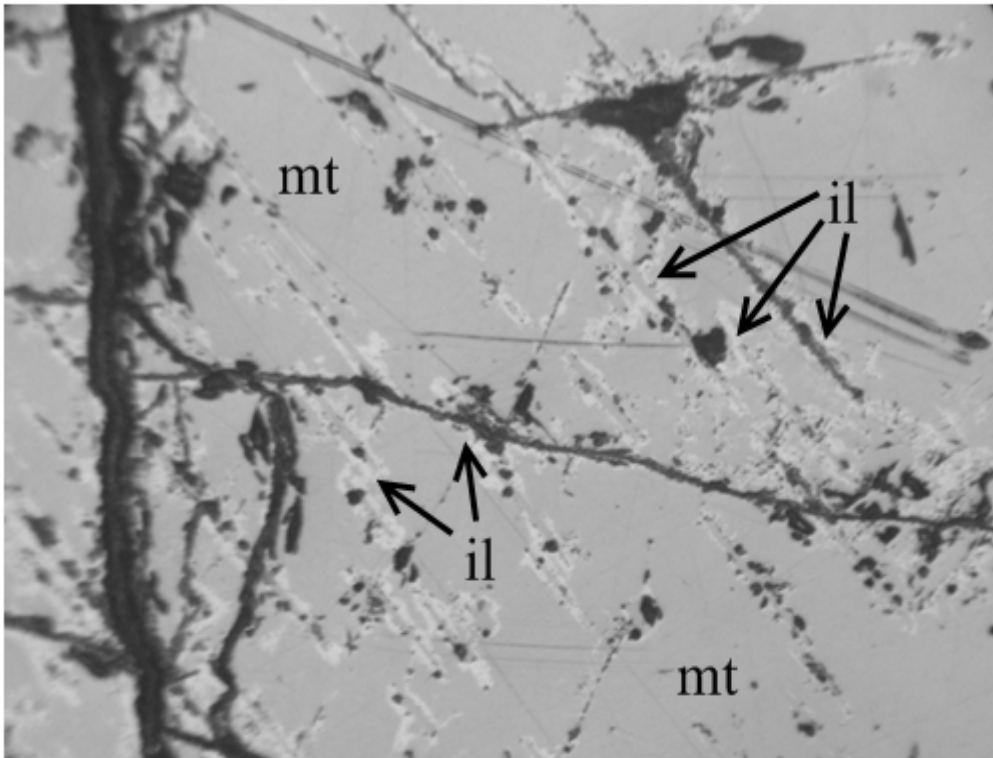


Рис. 5.25. Пластинчаста структура РТР ільменіту (il) в магнетиті (mt).  
Світло відбите, ніколі ||, збільш. 300<sup>x</sup>

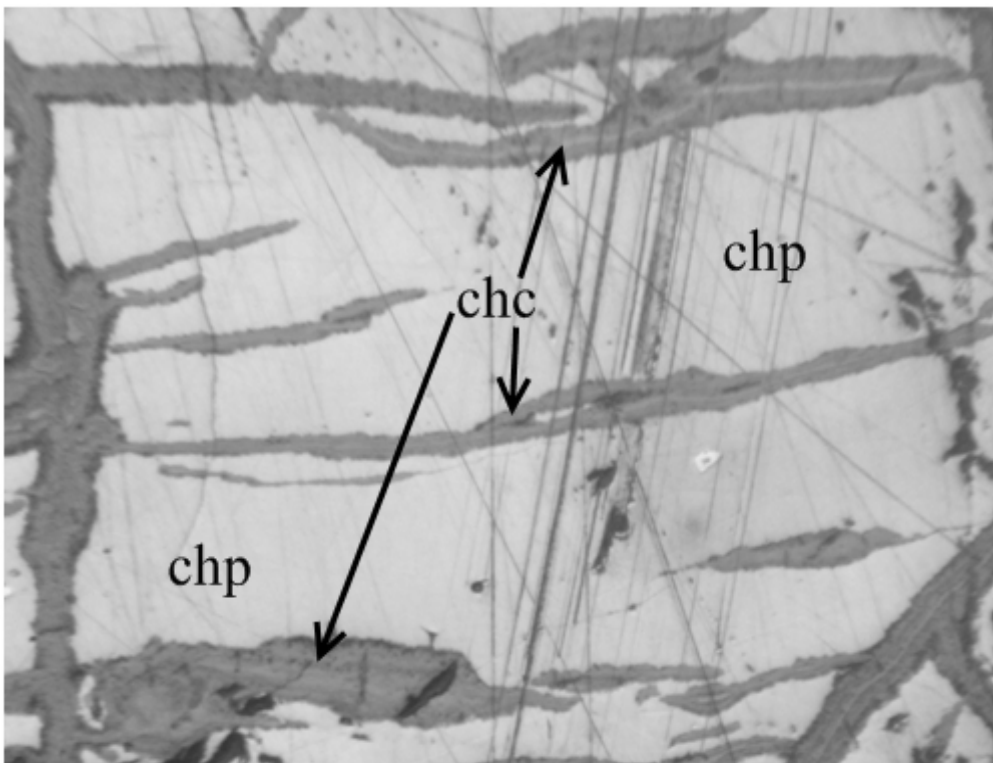


Рис. 5.26. Пластинчаста структура РТР халькозину (chc) в халькопіриті (chp).  
Світло відбите, ніколі ||, збільш. 300<sup>x</sup>

Границі між мінералами дорівнюються, без слідів корозії. Характерна для наступних пар мінералів: піротин + пентландит, кубаніт + халькопірит, ільменіт + магнетит.

*Гратчаста структура РТР* формується в тому випадку, коли пластинчасті виділення одного мінералу розташовуються за двома взаємно перпендикулярними напрямками спайності іншого мінералу. При цьому в місцях їх взаємного пересікання потужність пластинок зужується. Дана особливість дозволяє відрізнити гратчасті структури РТР від гратчастих структур заміщення. Дана структура характерна для наступних пар мінералів: ільменіт + гематит, халькопірит + борніт та ін. (рис. 5.27).

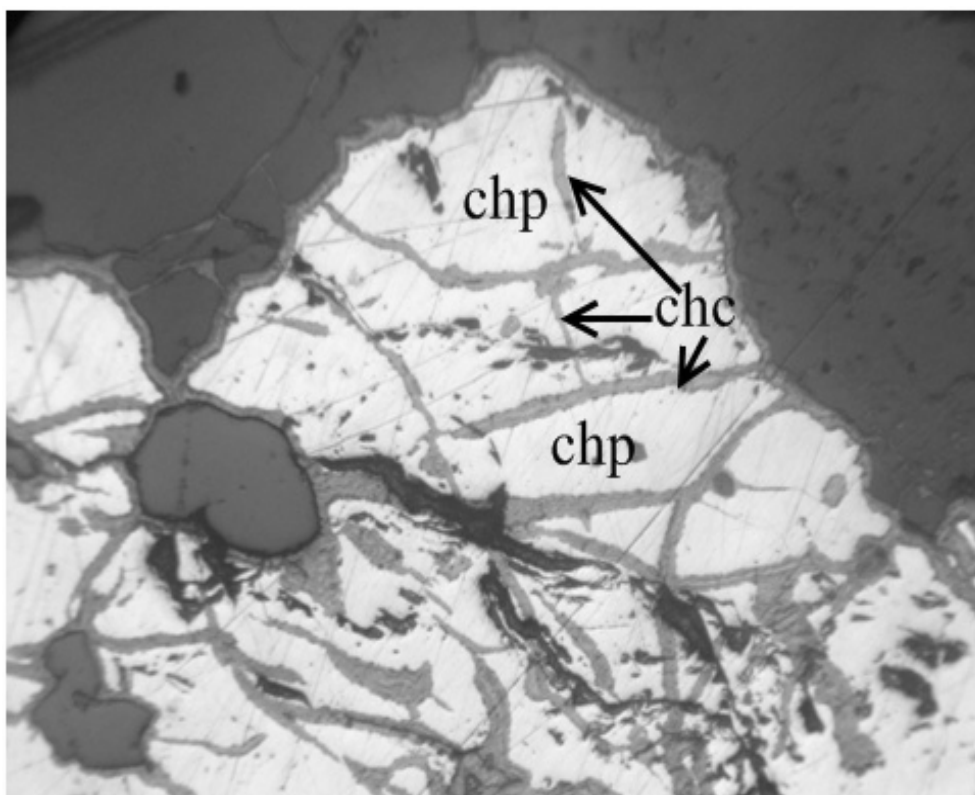


Рис. 5.27. Гратчаста структура РТР халькозине в халькопіриті.  
Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

*Петельчаста структура РТР* (рис. 5.28) формується внаслідок відокремлення одного мінералу по периферії іншого у вигляді вигнутих жилок. Найбільш характерна дана структура для пари пентландит + піротин.

*Полум'яподібна структура РТР* утворюється в тому випадку, якщо виділення одного мінералу локалізуються по периферії зерен та уздовж тріщин спайності іншого мінералу з формуванням своєрідних «язичків полум'я». Даний тип структур характерний для твердого розчину піротин + пентландит.

*Зональна структура РТР* формується в тому випадку, якщо один з мінералів, утворених у процесі розпаду твердого розчину, розташовується по концентричним зонам, які визначені структурою первинного мінералу (рис. 5.29). Дана структура характерна для наступних пар мінералів: магнетит + гематит, пірит + кобальтпірит, бравоїт + пірит.

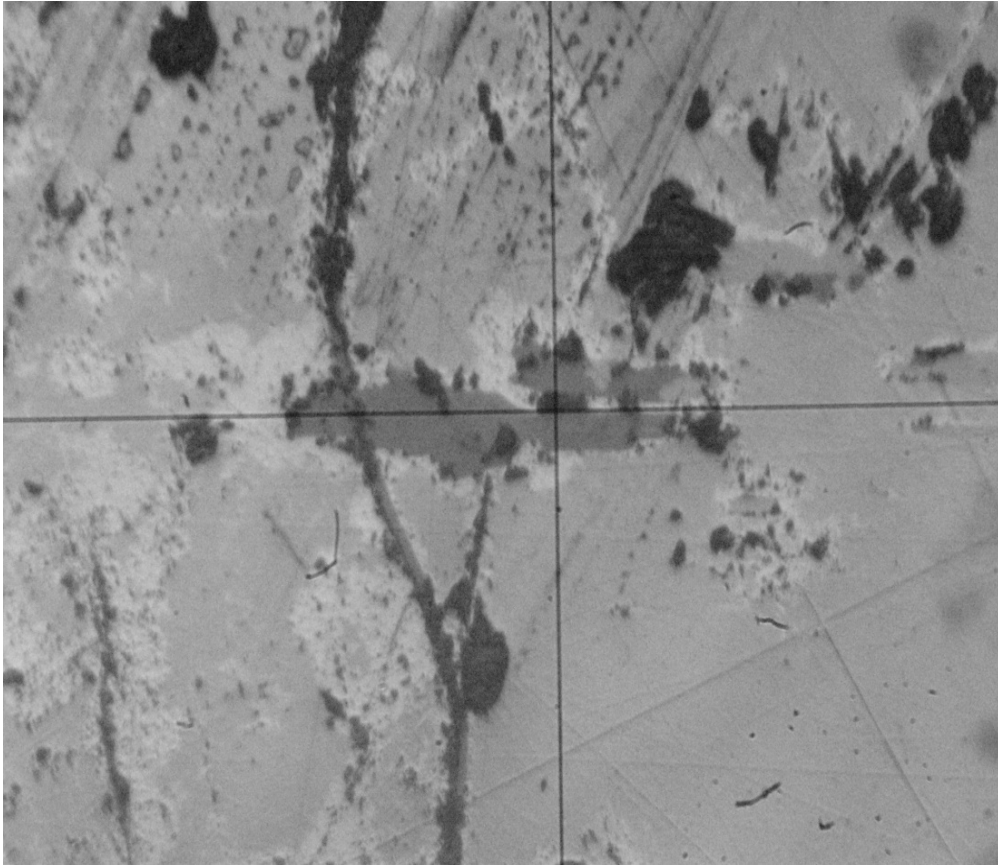


Рис. 5.28. Петельчата структура РТР.  
Світло відбите, ніколі ||, збільш. 300<sup>X</sup>

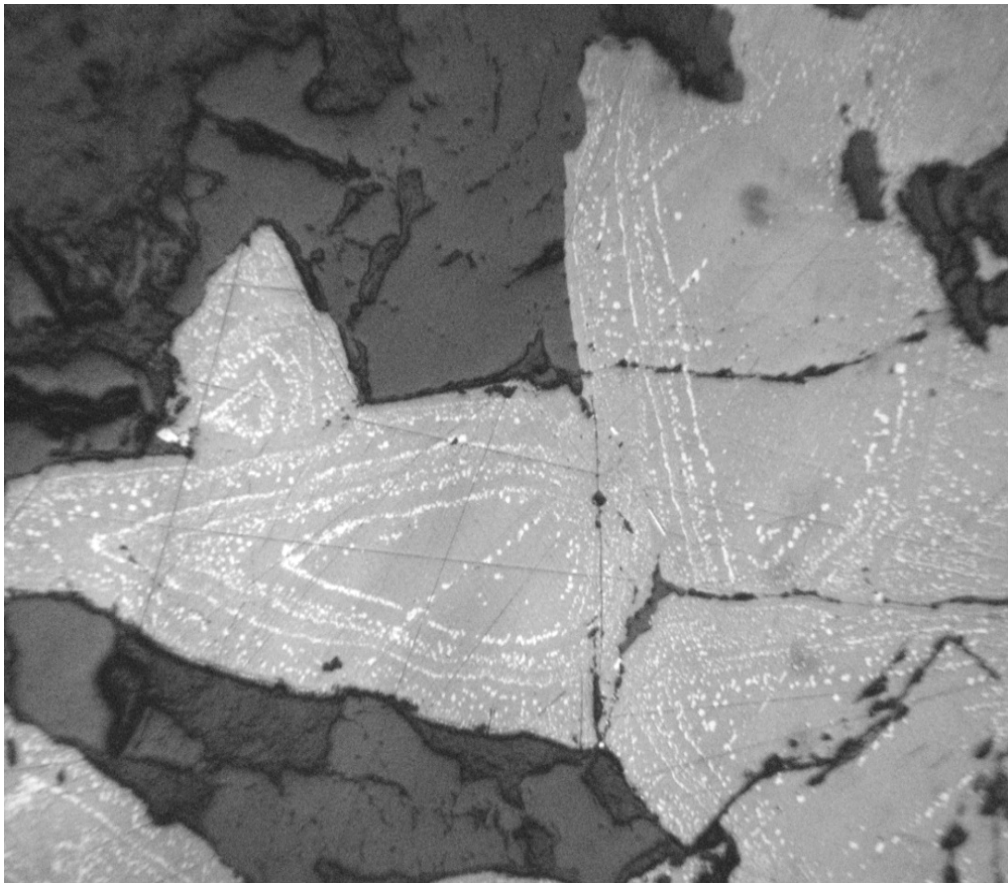


Рис. 5.29. Зональна структура РТР халькопірита в сфалериті  
Світло відбите, ніколі ||, збільш. 300<sup>X</sup>

## 5.6. Структури перекристалізації руд

До даної групи відносяться форми мінеральних зрощень у рудах, що сформувалися в результаті перекристалізації руд і розкристалізації колоїдів у твердому стані внаслідок зміни температури та тиску.

*Ідіоморфнобластична структура* характерна для мінеральних агрегатів, у яких бластозерна складових мінералів мають чітко виражені кристалографічні обриси. Часто зустрічається в рудах метаморфічного генезису.

*Гіпідіоморфнобластична структура* характеризує таку будову мінерального агрегату, у якому бластозерна різних мінералів мають різний ступінь ідіоморфізму. Характерна риса даної структури – чіткі, прямі границі між зернами без ознак корозії (рис. 5.30).

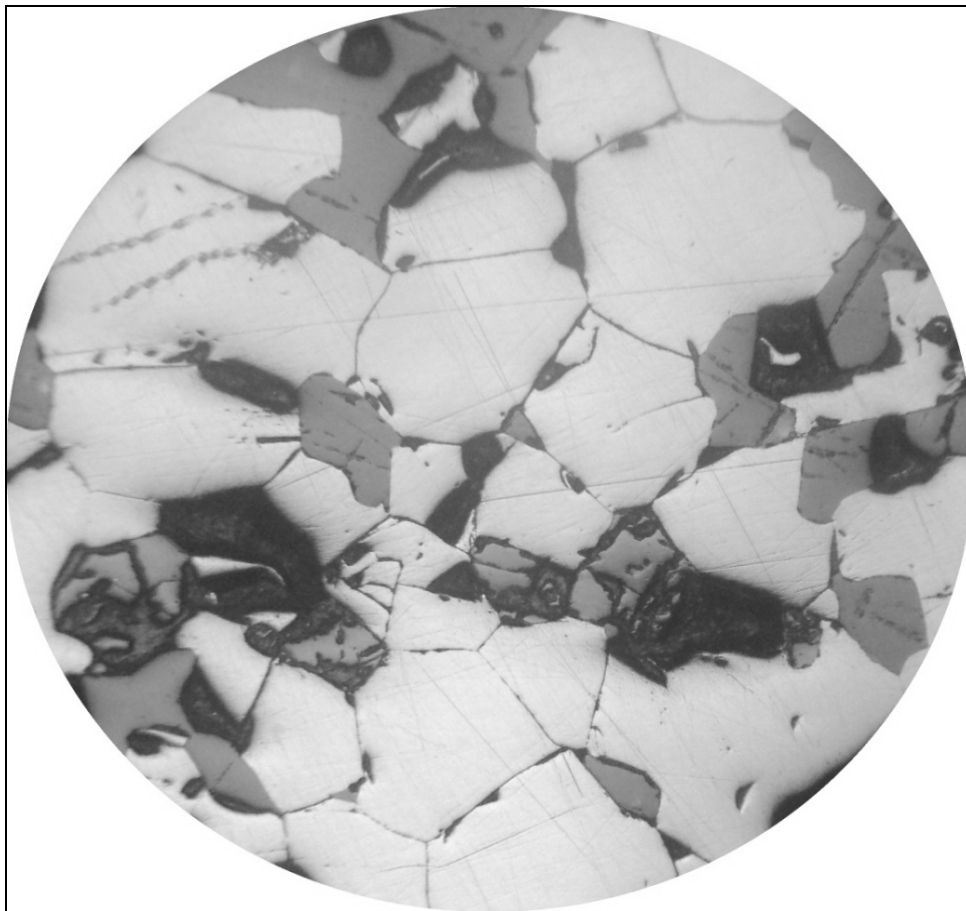


Рис. 5.30. Гіпідіоморфнобластична структура магнетиту в сполученні з полігональною структурою. Світло відбите, ніколі ||, збільш.  $90^{\times}$

*Порфіробластична структура* – різновид гіпідіоморфнобластичної структури, подібна до порфіроподібної, основна відмінність – відсутність корозійних границь між зернами.

*Пойкилобластова* (рис. 5.31) – різновид кристалобластової структури, у якій окремі більш перекристалізовані мінеральні індивіди містять дрібні, незакономірно орієнтовані включення інших мінералів породи. Подібна з пойкилітовою структурою магматичних порід, але відрізняється генетично, будучи структурою бластовою.



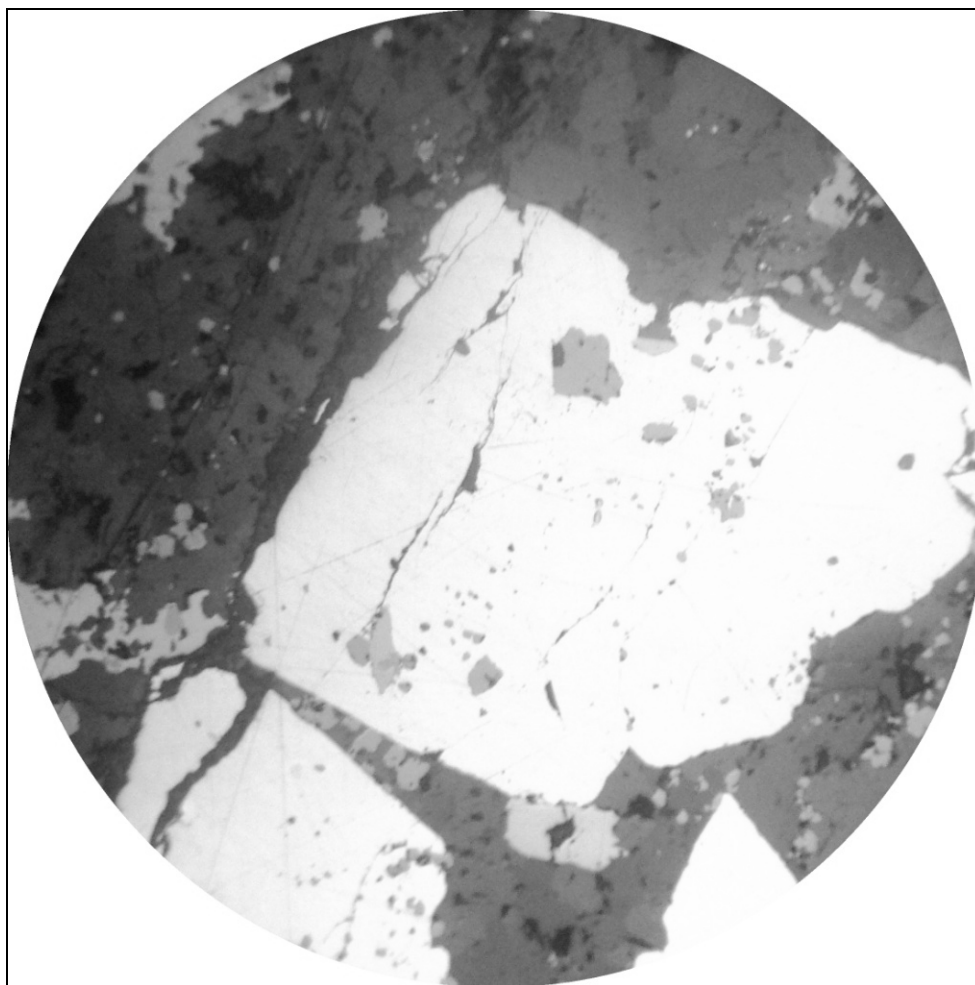


Рис. 5.31. Пойкилобластова структура піриту з включеннями магнетиту.  
Світло відбите, ніколї ||, збільш. 90<sup>x</sup>

*Алотриоморфнобластична структура* характеризується неправильною формою бластозерен, що мають у зрощеннях прямі, некорозійні обриси.

*Орієнтовано-бластична структура* характеризується подовженою формою бластозерен, витягнутих в одному напрямку. Характерна для руд, сформованих у процесі динамометаморфізму. При цьому в бластозернах іноді спостерігаються двійники ковзання, орієнтовані в напрямку, перпендикулярному тиску.

При розкристалізації колоїдних мас формуються *метаколоїдні структури*. Даний тип структур характерний для руд, що мають первинно коломорфні та гелеві структури.

Найбільш поширені *метаколоїдні структури* в рудах осадового генезису, зонах окислювання та вторинного сульфідного збагачення. При цьому зберігається сферичність обрисів мінеральних зрощень, але мінерали отримують кристалічну та зернисту будову.

*Сферолітова (радіально-промениста) структура* формується при розкристалізації гелів однорідного складу, у яких зародкові кристали виникали в центральній частині колоїдного агрегату.

*Коломорфно-метаколоїдна структура* формується при розкристалізації полімінерального агрегату з колоїдною, концентрично зональною будовою.

*Афанітова (прихованокристалобластична) структура* характеризує будову мінерального агрегату, у якому зернистість або кристалічність мінералів неможливо розрізнити навіть під мікроскопом.

*Гетеробластична структура* (рис. 5.32) характерна для мінеральних агрегатів, у яких бластозерна складових мінералів неоднорідні за величиною та мають нерівномірно виражені кристалографічні обриси. Часто зустрічається в рудах метаморфічного генезису.

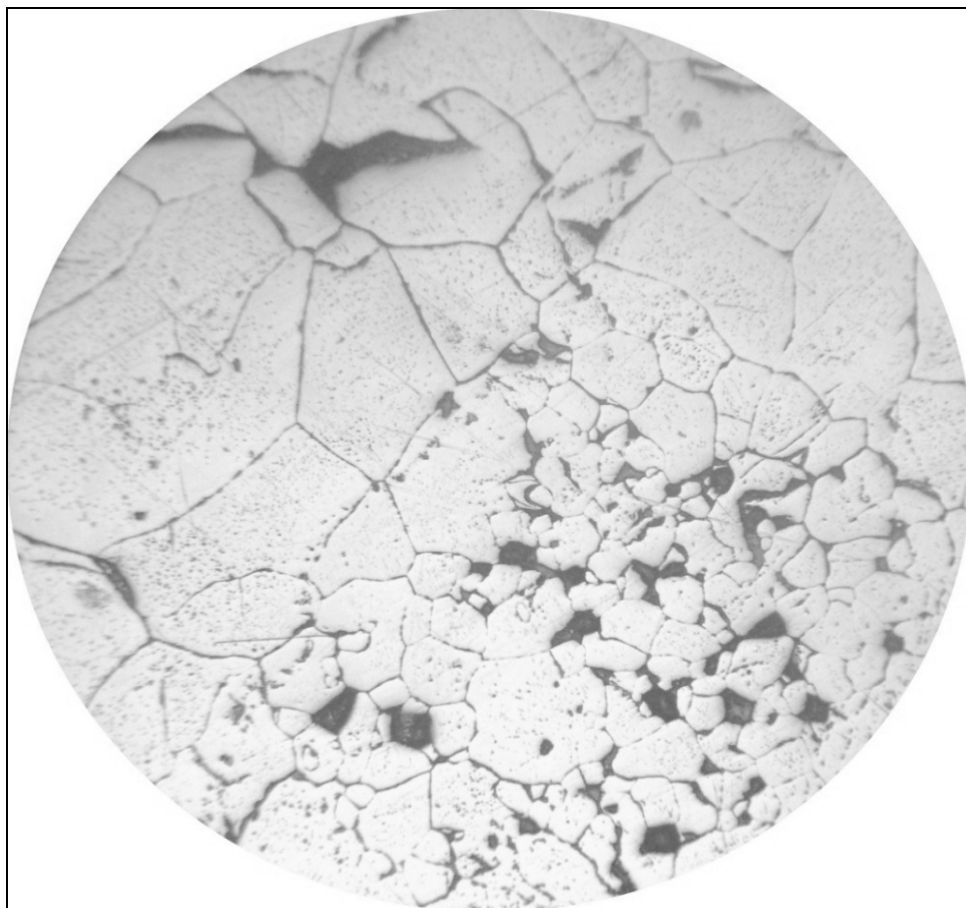


Рис. 5.32. Гетеробластична структура зерен магнетиту. Світло відбите, ніколі ||, збільш. 90<sup>x</sup>

### 5.7. Текстури руд

Текстура руди характеризує просторове взаємне положення мінеральних агрегатів, що розрізняються за формою, розмірами, складом та структурою. Розрізняють *мегатекстури* (спостерігаються в зрізах рудних тіл, тобто, на відслоненнях, вибоях), *макротекстури* (спостерігаються в штуфах) і *мікротекстури* (досліджуються під мікроскопом).

Систематичний опис текстур був виконаний А. Бетехніним, М. Ісаєнко, П. Рамдором, С. Юшко, В. Смирновим. У даному розділі наведений короткий системний опис текстур за результатами досліджень даних авторів.

*Масивна текстура* спостерігається в рудах рівномірної суцільної мономінеральної або полімінеральної будови.

*Смугаста текстура* характеризується чергуванням смуг різного мінерального складу. У рудах осадочного генезису різновидом смугастої є

шарувата текстура, у рудах метаморфічного генезису спостерігається гнейсоподібна, плейчаста, сланцювата текстура.

У магматичних утвореннях різновидами смугастої є *крустифікаційна* та *флюктуаційна* (потокоста) текстури.

*Прожилкова* текстура характеризується системою сітчастих, пересічних або паралельних прожилків.

*Сфероїдальна текстура* представлена концентричними скупченнями рудних мінеральних агрегатів. Різновиди сфероїдальної текстури – нодулярна, кільцева (у рудах магматичного генезису), друзова (у рудах гідротермальних родовищ), оолітова, бобова, конгломератова (у рудах осадових родовищ).

*Брунькоподібна текстура* поширена серед руд гідротермального та поверхневого походження і утворюється в результаті колоїдного мінералоутворення.

*Текстура дроблення* характерна для родовищ, формування яких було багатоступеневим та обумовлене дробленням мінеральних агрегатів ранніх генерацій, зцементованих мінералами пізніх генерацій.

*Пустотна текстура* – найбільш характерна для родовищ вивітрювання та характеризується наявністю каверн у руді.

*Каркасна текстура* найбільш часто зустрічається в рудах зони окислювання та характеризується розвитком тонких, відносно закономірно розташованих перегородок із твердих мінеральних скупчень (каркас), осередки яких складені пухкою мінеральною масою.

*Пухка текстура* спостерігається в слабо діагенозованих осадах з уламками та зернами різного розміру.

У табл. 5.2 наведена інформація про поширення характерних текстур у рудах родовищ різного генезису по В.І. Смирнову.

## 5.8. Парагенетичний аналіз руд

Парагенетичний аналіз застосовується для визначення генезису мінеральних родовищ і рішення багатьох практичних завдань при проведенні геологорозвідувальних робіт. Теоретичні основи парагенетичного аналізу розроблені А.Г. Бетехтіним, Д.С. Коржинським, а також викладені в роботах Н.В. Петровської, Т.Н. Шадлун, М.П. Ісаєнко та багатьох інших дослідників.

Генетичні категорії мінеральних груп визначені А.Г. Бетехтіним. Основною одиницею генетичної систематики мінеральних груп є парагенетична мінеральна асоціація.

*Парагенетична мінеральна асоціація (парагенезис)* – спільне знаходження мінералів, зв'язаних генетично.

Іноді під парагенезисом розуміють спільне знаходження просторово зв'язаних мінералів, що не мають загального генезису. Для характеристики подібних взаємин мінералів прийнятий термін *парастерезис*.

У фізико-хімічному аналізі *парагенезис мінералів* – сукупність спільно існуючих мінералів, що перебувають у рівновазі.

Таблиця 5.2

Признаки, які вказують на одночасне, послідовне або різночасове відкладення мінералів та мінеральних асоціацій

Типи відкладень	Генетичні ознаки				Примітки
	для мінералів		для асоціацій		
	Форма та будова мінерального зерна та колоїдної речовини	Структура мінерального агрегату	Текстура руди		
Одночасне	Форма	Внутрішня будова	Алотриоморфнозерниста, ідіоморфнозерниста, гребінчаста	Масивна	Парагенетичні асоціації мінералів в рудах власне магматичного, осадочного і рідко постмагматичного генезису
	Кристалічні зерна ідіоморфної або алотриоморфної форми	Однорідна, зональна, двійники росту			
	Кристаллообласті емульсійної, пластинчастої та волокнистої форми	Однорідна			
Послідовне	Колоїдна речовина сферичної форми	Концентрично-зональна	Метаколоїдна, колоїдна	Колоїдна	Парагенетичні асоціації мінералів в рудах магматичного, осадочного генезису та в гідротермальних жилах
	Кристалічні зерна ідіоморфної, гіп-ідіоморфної та ало-триоморфної форми	Однорідна, зональна, двійники росту	Гіпідіоморфнозерниста, сидеронітова	Шарувага Псевдощарувата	
	Скелетні та реліктові обриси зерен як результати заміщення Явища корозії між мінералами		Скелетна Реліктова	Оолітова Крустифікаційна Смугаста Жеодова	
Різночасові зі слідами перериву	Кристалічні, метасоматичні, бластичні та кластичні зерна різної форми	Однорідна, секторальна та зональна	Первинні та вторинні структури у ранніх та пізніх мінеральних агрегатах	Залповнення тріщин та пустот (прожилкова, брекчєва, кокардова, смугаста, друзова и др.) Корозійні (реліктова, скелетна, облямівоночна, петельчаста, гратчаста, графічна и др.) Успадкована	Парагенетичні асоціації мінералів в рудах постмагматичного генезису, в зоні окислення та в зоні цементації
	Колоїдна речовина	Двійники росту та двійники тиску			

Крім парагенезисів мінералів, виділяють парагенезиси порід, фацій, елементів.

*Парагенетична мінеральна асоціація* є складовою частиною більшої генетичної групи – мінеральних комплексів або характерних мінеральних асоціацій. Відмінними рисами даної генетичної групи є:

- витриманий мінеральний склад;
- особливості морфології та будови агрегатів, структури локалізації;
- закономірний розподіл у просторі.

Мінеральні комплекси відкладаються протягом тривалих періодів мінералоутворення, а парагенетичні мінеральні асоціації відображають невеликий відрізок часу з певними фізико-хімічними умовами середовища мінерало- і рудоутворення (температура, тиск, Eh та рН середовища та ін.).

При генетичному підрозділі груп мінеральних індивідів прийнята наступна схема: характерна мінеральна асоціація – парагенетична асоціація мінералів – генерація (покоління) мінералів. У парагенезис входить одна генерація кожного мінералу.

### **5.9. Послідовність виділення мінералів і мінеральних асоціацій**

При вивченні послідовності мінералоутворення одним з основних методів досліджень є текстурно-структурний аналіз. Основні терміни, що характеризують послідовність виділення мінералів будь-якої парагенетичної асоціації – *«етап»*, *«стадія мінералізації»* та *«генерація мінералів»*.

*Етап мінералізації* або *рудоутворення* – це тривалий процес формування мінералів, що характеризується певними геологічними та фізико-хімічними умовами, при яких формується рудне тіло або родовище.

*Стадія мінералізації* – невеликий період мінералоутворення всередині етапу, що характеризується утворенням однієї характерної мінеральної асоціації.

*Генерація мінералів* – різновікові виділення мінералів, які відрізняються один від одного морфологічними особливостями (форма, розміри зерен), а також варіаціями хімічного складу та фізичних властивостей.

Якщо в аншліфі присутні кілька генерацій мінералу, то опис кожної генерації проводиться за таким планом:

- 1) віднесеність до певної асоціації мінералів;
- 2) форма, розміри виділень;
- 3) внутрішня будова зерен, розмір включень (якщо вони є); особливості для кожної генерації.

Критерії визначення стадійності мінералоутворення (по А.Г. Бетехтіну) наступні:

- а) відмінність мінерального складу агрегатів нової стадії;
- б) пересікання ранніх мінеральних агрегатів більш пізніми, які відрізняються за складом та будовою;
- в) зональність зерен;
- г) наявність корозійних обмежень зерен мінералів.

д) брекчіювання, дроблення, метаморфізм ранніх мінеральних агрегатів, цементация більш пізніми мінералами.

Дослідження взаємин між мінералами, що відклалися протягом одного етапу або стадії мінералізації, дозволяє встановити одночасне, послідовне або таке, що перекриває, їхнє виділення.

Зерна мінералів, які виділялися одночасно при кристалізації розчинів, зростаючись один з одним, формують ідіоморфнозернисту, гребінчасту та алотриоморфнозернисту структури.

Доказом одночасного виділення мінералів у колоїдному агрегаті є наявність гелевої та прихованокристалічної структур.

Структури розпаду твердих розчинів є однозначним доказом одночасного виділення мінералів.

Ідіоморфні та гіпідіоморфні зерна мінералів формуються в трьох петрогенетичних процесах:

- 1) при ранній кристалізації в розчині;
- 2) при перекристалізації речовини;
- 3) при метасоматичному заміщенні.

Алотриоморфні зерна, що заповнюють проміжки між ідіоморфними та гіпідіоморфними, формуються останніми.

Зерна мінералів, які виділяються з розчинів при послідовній кристалізації, мають зональну будову. Характерною рисою для них також є наявність корозійних обмежень контурів зерен.

Корозія одного мінералу іншим визначається по конфігурації границь зерен. Опуклі границі мінералу, що слабо виступають назовні, свідчать про його раннє утворення, а зазубрені, бухтоподібні контури мінералу, що заходять глибоко усередину раннього мінералу у вигляді «заток», характерні для більше пізніх мінералів.

Як правило, вздовж корозійних границь у мінералі, що заміщується, майже завжди спостерігаються релікти вихідного мінералу. Зерна більш ранніх мінералів парагенетичної асоціації цементуються більш пізніми мінералами.

Вікові взаємини між мінеральними агрегатами, що формують руди певних родовищ, визначаються з урахуванням характерних текстур, структур і речовинного складу зруднення. Текстури також найбільш наочно відображають стадійність мінералоутворення при макроскопічному вивченні.

Мінеральні агрегати, сформовані протягом однієї стадії мінералізації можуть бути одночасними або послідовними, а для мінеральних агрегатів різних стадій встановлюється різночасне виділення.

Масивна, вкраплена, плямиста та коломорфна текстури характеризують одночасне відкладення мінеральних агрегатів.

Руди зі смугастими, крустифікаційними, шаруватими текстурами формуються при послідовному відкладенні мінеральних агрегатів.

Різночасні мінеральні агрегати формуються в процесах заміщення та при заповненні порожнеч.

Більш пізні мінеральні агрегати виконують тріщини або порожнини в ранніх мінеральних агрегатах, а також цементують уламки ранніх мінеральних

агрегатів. Найбільш характерні текстури: прожилкова, брекчієва, кокардова, друзова, жеодова.

Відкладення мінеральних агрегатів різного часу також можна встановити за структурами, які утворюються при заміщенні ранніх агрегатів більш пізніми. Найбільш характерні структури: каймиста, реліктова, гратчаста, скелетна, футляроподібна та ін.).

#### **Питання для самоконтролю:**

1. Визначить поняття «структура» руд та «текстура руд»
2. Охарактеризуйте генетичну класифікацію текстур руд
3. Охарактеризуйте принципи класифікації структур руд
4. Опишіть мікроструктури характерні для кожної генетичної групи (структури кристалізації, структури заміщення (корозійні), структури метасоматичного заміщення, структури дроблення, структури РТР, структури перекристалізації руд).
5. Що таке «парагенетична мінеральна асоціація (парагенезис)». В яких випадках використовується термін парастерезис?
6. Охарактеризуйте поняття «етап рудоутворення» та «стадія рудоутворення». Яка між ними різниця?
7. Опишіть, яким чином та в якому порядку проводиться визначення послідовності виділення мінералів і мінеральних асоціацій.

## РОЗДІЛ 6. ТЕХНОЛОГІЧНА МІНЕРАГРАФІЯ

### НАВЧАЛЬНІ ЦІЛІ ШОСТОГО РОЗДІЛУ – ВИВЧЕННЯ НАСТУПНОГО МАТЕРІАЛУ:

1. Вплив текстурно-структурних особливостей на процес збагачення руд.
2. Фізичні властивості рудоутворюючих мінералів, які впливають на процес збагачення руд.
3. Сприятливі та несприятливі для процесу збагачення структури корисних копалин.
4. Діагностика мінералів при збагаченні руд.
5. Визначення розмірів мінеральних зерен, вимір площ та кількості мінералів в препараті.
6. Розрахунок ціни поділки окуляр-мікрометру для об'єктів різного збільшення.
7. Лінійний та площинний методи підрахунку кількості мінералів у мікроскопічних препаратах.

### НА ОСНОВІ НАБУТИХ ЗНАТЬ ЧИТАЧ ПОВИНЕН ВМІТИ:

1. Охарактеризувати поняття «технологічна мінераграфія», «промисловий тип руд», «продуктивний мінеральний парагенезис».
2. Вміти визначати сприятливі та несприятливі для процесу збагачення структури руд в мікроскопічних препаратах.
3. Вміти визначати компоненти складних зерен та оцінювати їх вплив на процес збагачення корисних копалин.
4. Вміти оцінювати вплив форми мінеральних зерен та типів зрощень на процес збагачення руд.
5. Проводити визначення розмірів мінеральних зерен та кількості мінералів у мікроскопічних препаратах.



**Технологічна мінераграфія** – розділ рудної мікроскопії, що вивчає властивості руд стосовно до процесу їхнього збагачення.

**Промисловий тип руд** визначається змістом промислово цінних (продуктивних) мінеральних парагенезисів і характеризується певними морфологічними та генетичними типами структур.

**Продуктивний мінеральний парагенезис** – це мінеральний парагенезис, що містить промислово цінні хімічні елементи. Технологічна оцінка якості руди полягає у вивченні речовинного складу (хімічного та мінерального), визначенні кількості рудних мінералів, вивченні характеру зрощень рудоутворюючих мінералів і визначенні промислового типу руд.

### **6.1. Вплив текстурно-структурних особливостей руд на процес збагачення**

При збагаченні корисних копалин необхідно мати інформацію про розміри зерен мінералів, оскільки це дозволяє вибрати схему дроблення та визначити можливості поділу мінералів фізичними методами.

Визначення розмірів зерен в аншліфах руд часто підтверджує необхідність дрібного дроблення для вивільнення цінних компонентів руди. Процес поділу обумовлюється розмірами часток руд, що підлягають дробленню.

Наприклад, для процесу електростатичної сепарації сприятливими є розміри часток від 0,05 до 2,5 мм, процес магнітної сепарації ефективний для часток 0,05...150 мм у діаметрі. Флотацію з використанням суспензій застосовують для часток розміром 0,001...0,8 мм.

При проведенні мікроскопічних досліджень твердих руд поряд з визначенням розмірів зерен детально вивчають структурні особливості мінеральних асоціацій руд.

Границі зіткнення мінеральних зерен можуть такими, що дорівнюються, або плавно вигинатися – у цьому випадку поділ мінеральних зерен відбувається легко. У деяких рудах границі зерен є зазубреними, взаємно проникаючими, тому повного поділу мінералів домогтися дуже складно, а іноді взагалі неможливо.

Наприклад, процес збагачення титанових руд магматичного генезису часто ускладнений структурними особливостями рудоутворюючих мінералів. У таких рудах ільменіт (головний промисловий мінерал) зустрічається в різних асоціаціях з мінералами заліза.

Іноді ільменіт спостерігається у вигляді відособлених зерен, які легко виділяються при дробленні руд та в процесі магнітної сепарації. Однак у деяких рудах ільменіт утворює мікроскопічні зрощення з гематитом, які неможливо розділити дробленням. Аналогічні форми зрощень спостерігаються у титаномагнетитових рудах, де ільменіт утворює мікроскопічні зрощення з магнетитом.

У серпентинізованих рудах магнетит також формує тонкі зрощення із силікатами, ускладнюючи процес збагачення.

У процесі дроблення руд повний поділ складових частин досить проблематичний, внаслідок чого в продуктах дроблення присутні «складні» зерна, що складаються з декількох мінералів. Необхідно визначати процентний вміст складних зростків, які можуть попадати в концентрат, знижуючи його якість, або у хвості збагачення, де цінний мінерал втрачається.

За допомогою мікроскопічного методу мінералогічного аналізу легко визначити склад складних зерен та оцінити збіднення та втрати корисних компонентів.

Вибір оптимальної схеми збагачення мінеральної сировини залежить від складу та будови руд. Поряд з вивченням мінерального складу та особливостей будови руди проводиться комплекс аналітичних досліджень, що включає хімічні, полярографічні, спектральні аналізи вихідної руди, рудних концентратів та окремих мінералів для визначення кількості головних рудоутворюючих компонентів, оцінки корисних і шкідливих домішок.

У ряді випадків також необхідна інформація про склад окремих мінералів. Наприклад, у титан-цирконових розсипних рудах присутність рутилу, що проріс ільменітом, ускладнює процес збагачення, оскільки рутил попадає в електромагнітну фракцію, що відображається на ступені витягання рутилу в концентрат; змінений вторинними процесами рутил заважає повному його відділенню від циркону за допомогою діелектричної та електричної сепарації; чорний рутил гірше відокремлюється від циркону, ніж червоний рутил, оскільки має трохи більш високу питому вагу.

У поліметалевих рудах сфалерит з високим змістом заліза трудніше піддається збагаченню, ніж не утримуючий заліза сфалерит.

Відповідно до класифікації рудоутворюючих мінералів, розробленої М.П. Ісаєнко, прийнято їх поділяти на 4 групи:

- 1. промислові мінерали;*
- 2. мінерали-носії корисних домішок;*
- 3. мінерали-носії шкідливих домішок;*
- 4. непромислові мінерали.*

При проведенні мінералогічних досліджень руд для збагачення визначають діагностичні властивості промислових мінералів, а також мінералів-носіїв корисних і шкідливих домішок, вивчають форму мінеральних зерен, їхні розміри, характер зрощень рудних і нерудних мінералів, включення, заміщення вторинними мінералами. Фізичні властивості рудоутворюючих мінералів (твердість, ковкість, крихкість, пористість, тріщинуватість, пластичність) багато в чому визначають результативність процесу дроблення руди.

Тверді нерудні мінерали при зрощенні з м'якими рудними мінералами сприяють більшому здрібненню цінних мінералів і, як наслідок – їхній втраті. Тонковолокнисті та пластинчасті нерудні мінерали, що тісно зростаються з рудними мінералами, із складнощами відокремлюються при флотації. Наявність глинистих мінералів ускладнює процес флотації сульфідів.

При виконанні якісної оцінки руд детально вивчають взаємні зрощення рудних і нерудних мінералів, а також форму та розміри виділень рудоутворюючих мінералів.

Мінеральні виділення за формою поділяються на наступні основні групи:

1. *ізометричні*;
2. *неправильної форми*;
3. *подовжені (голчасті, прожилкові, гратчасті, ниткоподібні, лінзоподібні*;
4. *пластинчасті (таблитчасті, лускаті)*.

У процесі поділу мінералів при збагаченні більшу роль грають границі зрощень мінералів. Рівні границі сприяють більш легкому поділу мінералів, а зазубрені границі є ускладнюючою властивістю руд при збагаченні.

Пористість і тріщинуватість мінералів багато в чому визначають процес здрібнювання руд, а також можливість проникнення розчинів при флотації та вилуговуванні.

При визначенні мінімальної величини необхідного здрібнювання руди варто визначити розміри виділень корисних мінералів і мінералів-носіїв шкідливих домішок. Дослідженню підлягають включення, зерна або мінеральні агрегати.

В табл. 6.1 наведена класифікація розмірів мінеральних виділень для технологічної оцінки руд, розроблена В.А. Глазковським із співавторами [49]. Текстури та структури руд при якісній технологічній оцінці поділяються на *сприятливі та несприятливі для збагачення*.

*Сприятливі для збагачення* структури та текстури – це форми зрощень мінералів, які обумовлюють максимальний витяг корисного компонента при збагаченні. *Несприятливі для збагачення* структури та текстури руд – це форми зрощень мінералів, при яких неминучі значні втрати коштовних компонентів або неможливе їхнє відділення від непромислових мінералів.

Руди, в яких переважають однорідні текстури, не вимагають попереднього збагачення за умови відсутності мінералів-носіїв шкідливих домішок.

Руди з неоднорідними текстурами (плямистої, вкрапленої, нодулярної), подовженими (смугастої, прожилкової), катакlastичними збагачуються в основному легко. Руди, в яких промислові мінеральні агрегати є цементуючими, збагачуються із втратами корисних компонентів. Брекчієподібні та кокардові текстурні зрощення мінеральних агрегатів несприятливі для збагачення.

Мінеральні агрегати руд за співвідношенням крупності зерен поділяються на *рівномірнозернисті та нерівномірнозернисті*.

Рівномірнозернисті агрегати мінералів є сприятливими для збагачення, а нерівномірнозернисті агрегати ускладнюють процес збагачення.

По крупності зерен всі руди та складові мінеральні агрегати ділять на 5 груп:

- грубозернисті з величиною зерен у діаметрі більше 2мм;
- середньозернисті – від 2 до 0,2мм;
- дрібнозернисті – від 0,2мм до 0,02мм;
- тонкозернисті – від 0,02мм до 0,002мм;
- субмікроскопічні та колоїдно-дисперсні з величиною часток менш 0,002мм.

Таблиця 6.1

## Класифікація розмірів мінеральних виділень (зерен та мономінеральних агрегатів) для технологічної оцінки руд [49]

Величина виділень	Переважає розмір виділень, мм	Умови спостереження та виміру	Технологія вилучення з руд виділень даного розміру
Вельми крупні	Від 200 до 20	Чітко спостерігаються неозброєним оком. Розміри визначаються безпосереднім виміром	Рудорозборка. Частково суха магнітна сепарація, для глинистих руд – промивання
Крупні	Від 20 до 2		Відсадження. Збагачення у важких середовищах. Іноді суха та мокра магнітна сепарація. Частково гідрометалургійний витяг шляхом перколяційного вилуговування
Дрібні	Від 2 до 0,2	Спостерігаються неозброєним оком. Розміри визначаються безпосереднім виміром та інколи під лупою	Концентрація на столах (піскових і шламових). Іноді мокра магнітна сепарація. При гідрометалургійному витягу перколяційне або агітаційне вилуговування
Тонкі	Від 0,2 до 0,02	Помітні за допомогою лупи або мікроскопа. Розміри визначаються під мікроскопом	Флотація. В рідких випадках часткова концентрація на спеціальних шламових столах. Іноді статичне відмулювання; при гідрометалургійному витягу агітаційне вилуговування
Вельми тонкі (або емульсійні)	Від 0,02 до 0,002	Спостерігаються та вимірюються під мікроскопом	Статичне відмулювання. У рідких випадках флотація або гідрометалургійний витяг
Суб-мікроскопічні	Від 0,002 до 0,0002	У мікроскопі можуть спостерігатися тільки при найдужчих збільшеннях. Вимірюються спеціальними методами	Не витягаються методами механічного збагачення. Звичайно переробляються разом з компонентами породи, що вміщає.
Колоїдно-дисперсні	Менше 0,0002	Не помітні у звичайному мікроскопі навіть при найдужчих збільшеннях, вимагають спеціальних методів спостереження та виміру (електронний мікроскоп й ін.)	Роздільний витяг вимагає розробки спеціальних методів

В процесі флотації полімінеральних руд, у яких спостерігаються метаколоїдні мікротекстури, витягання промислових мінералів у концентрат відбувається із більшими втратами, а іноді поділ мінералів неможливий.

У таких агрегатах відзначаються надзвичайно тонкі зрощення рудоутворюючих мінералів (величина прихованокристалічних і колоїдно-дисперсних часток промислових мінералів в агрегатах становить тисячні та десяті частки міліметра).

Пухкі, порошковаті різновиди руд є несприятливими для збагачення.

До числа текстурно-структурних особливостей руд, що ускладнюють процес збагачення, відносяться корозійні текстури та структури, оскільки для таких зрощень найбільш характерні бухтоподібні контакти зерен, зазубрені границі, графічні форми зрощень, прожилкові виділення мінералів.

Найбільш несприятливими для процесів збагачення є руди зі структурами розпаду твердих розчинів, пойкилітовими та пойкилобластичними структурами.

Ефективність процесу збагачення залежить від особливостей мінеральних зерен. Зерна, що мають чисту поверхню в процесі флотації, не викличуть ускладнень.

При цьому зерна мінералів, поверхня яких покрита сторонньою речовиною, можуть викликати істотні ускладнення. Покриття (плівки) на поверхні зерен заважають витягу, тому частина мінералів може піти у хвости.

Плівки на поверхні мінеральних зерен характерні для родовищ окислених руд. Плівки окислів щільно обволікають зерна та перешкоджають контакту флотуючих речовин із зернами промислово цінних мінералів. Часте окислювання руд відбувається на місці їхнього зберігання.

Наприклад, галеніт по периферії та по тріщинах спайності перетворюється в англезит або церусит. Халькопірит і багато мінералів, що вміщують мідь, покриваються плівками куприту або малахіту, що перешкоджають витягу міді флотуючими реагентами, які вводять, розраховуючи на не окислені мінерали.

У деяких рудах тонкі оболонки гідроокислів та окислів заліза, що покривають золото, перешкоджають ціанізації. Як правило, оболонки на поверхні мінеральних зерен, обумовлені глибинними процесами, однак іноді вони можуть виникати в процесі збагачення в результаті окислювання деяких мінералів заліза при здрібнюванні. Подібні перетворення характерні для піротину та марказиту.

Значні труднощі викликає процес технологічної переробки руд із зон вторинного сульфідного збагачення. У поліметалевих рудах зерна галеніту можуть бути оточені облямівками ковеліну, що утрудняє витяг галеніту та повний поділ міді та свинцю.

Ступінь окислювання може по-різному впливати на властивості мінералів. Ступінь окислювання ільменіту в родовищах прибережно-морських розсипів знижує його магнітну сприйнятливість. Окислювання магнетиту, який вміщує титан, знижує його магнітну сприйнятливість і створює проблеми поділу магнетиту та ільменіту.

Таблиця 6.2

## Текстури та структури руд, які сприятливі для збагачення (за даними [49])

Текстури		Структури			
Морфогенетичні групи	Морфологічні види	Примітки	Морфогенетичні групи	Морфологічні види	Примітки
Однорідні	Рівномірно вкраплена, масивна, порошкувата	Руди з однорідною будовою звичайно не вимагають збагачення	Зернисті	Ідіоморфнозерниста, гребінчаста, радіально-променева, алотриоморфнозерниста, гіпдіоморфнозерниста, сидеронітова	
Плямисті	Вкраплена, плямиста, нодулярна		Метазернисті	Ідіоморфнометазерниста, алотриоморфнометазерниста, гіпдіоморфнометазерниста	Руди рівномірно-зернисті крупно-, середньо-, дрібнозернисті збагачуються з невеликою кількістю втраг
Витягнуті	Смугаста, гнейсоподібна, шарувата, псевдошарувата, лінзоподібна, сланцювата, плійчаста, прожилкова, коркова, дендритова	Руди з неоднорідною будовою, з розмірами мінеральних виділень більше 2 мм збагачуються з невеликою кількістю втраг	Власне кристалобластичні	Ідіоморфнобластична, алотриоморфнобластична, або гранобластична, орієнтовано-бластична, гіпдіоморфнобластична	
Катакластичні, пластичні	Брекчєва, конгломератова		Катакластичні, кластичні	Роздроблена, гранокластична, орієнтованокластична, орієнтовано-зерниста, уламкова, змінання	
Цементні	Цементна				
Натічні (колоїдні, метаколоїдні)	Оолітова, брунькоподібна, конкреційна, коломорфна, коркова, натічно-лушпинна, сталактитова, сталагмітова	Руди з мономінеральними агрегатами однорідної будови легко піддаються механічному збагаченню			

Таблиця 6.3

Вплив структур розпаду твердого розчину на показники збагачення титаномагнетитових руд (за даними [56])

Текстурний тип зруднення	Структура	Вміст у руді, %			Вихід, %		Вміст у магнітній фракції, %			Вміст у немагнітній фракції, %		
		Fe	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	концентрату	хвостів	Fe	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
Середньо-вкраплений	Сидеронітова зі структурою розпаду магнетит-шпінель	21.8	0.20	1.73	27.4	72.6	62.1	0.65	3.54	6.8	0.03	1.05
		19.6	0.17	1.56	23.6	76.4	64.0	0.65	3.28	5.9	0.02	1.02
Дрібно-вкраплений	Сидеронітова зі структурою розпаду магнетит-шпінель	20.4	0.16	1.47	25.0	75.0	60.3	0.61	3.85	7.0	0.01	0.68

Структурний і мінералогічний аналізи необхідно проводити як контроль на різних стадіях процесу збагачення. Особливо ефективно їхнє застосування на початкових стадіях здрібнювання.

У процесі збагачення мінералогічний склад руд у процесі обробки змінюється, тому структурний і мінералогічний аналіз вихідних руд і продуктів технологічної переробки дозволить скорегувати процес збагачення.

У табл. 6.2 та 6.3 подані основні різновиди текстур і структур руд, сприятливих і несприятливих для процесу збагачення.

## **6.2 Діагностика мінералів при збагаченні**

Методи діагностики рудних мінералів застосовуються в галузі дослідження природних руд, а також в галузі збагачення корисних копалин (з вивченням складу неопрацьованих руд, а також продуктів різних стадій здрібнювання та поділу).

У першу чергу при діагностиці неопрацьованих руд варто визначити мінерали-носії коштовних компонентів, оскільки часто інформація про речовинний склад обмежується тільки валовим хімічним аналізом руд. Недолік такого підходу до вивчення руд полягає в тому, що різні мінеральні асоціації можуть дати подібні валові аналізи руд. Крім того, відсутня інформація про рудоутворюючі мінерали, характер їхніх зрощень, розміри мінеральних зерен.

Відомості про діагностичні властивості мінералів руд, їхні текстурно-структурні взаємини дозволяють вибрати оптимальну схему збагачення руд. При вивченні вихідних руд можна оцінити вплив питомої ваги, магнітних та електричних властивостей мінералів на процес їхнього поділу. При цьому тонкі зрощення, утворені рудними мінералами з більшою питомою вагою з нерудними, жильними мінералами, можуть призвести до втрати коштовних компонентів або розведення концентрату. Аналогічні проблеми можуть виникнути, якщо в рудах спостерігаються тонкі зрощення магнітних і немагнітних мінералів.

За даними Дж. Крейга [9] при використанні деяких методів поділу, такий матеріал може виявитися в третій проміжній фракції, що перебуває за складом між концентратом і хвостами, і зветься «промпродуктом».

На процес флотації несприятливий вплив може здійснити наявність плівок окислювання та мінливості на поверхні зерен рудних мінералів. Виявлення таких плівок можливо тільки при мікроскопічних дослідженнях. Для видалення продуктів окислювання перед флотацією використовують спеціальні реагенти.

Процес флотації також неефективний у випадку, якщо частки руд складаються із зерен мінералів із зазубреними загальними границями. У такому випадку відбувається втрата рудних мінералів або забруднення концентрату зернами, що перебувають із ними у взаємному зростанні.

Ускладнення в процесі флотації рудних мінералів може бути викликано наявністю тальку, серициту, каоліну. Дані мінерали також здатні флотуватися та знижують вміст металів у концентратах.



На процес здрібнювання вплив може здійснювати присутність твердих жильних мінералів, наприклад, кварцу. Якщо кварц перебуває в зрощенні з м'якими рудними мінералами (галенітом), то він подрібнюється до певного розміру більш повільно і в результаті можливе перездрібнювання галеніту з утворенням порошкоподібного шламу.

Таким чином, для ефективного вивільнення корисних мінералів необхідно визначити точні розміри мінеральних зерен, оскільки недостатнє дроблення призводить до втрати коштовних компонентів у хвостах, а у випадку перездрібнювання відбувається перевитрата енергії та утворюються шлами, що важко піддаються переробці при подальшому технологічному процесі.

Особливо важливо для збагачення вивчати конфігурацію границь зерен, що формують зрощення. У результаті можна довідатися, чи відбувався під час дроблення розрив великих часток по границях зерен, а також одержати дані щодо розривів і мікротріщин у зернах самих рудних мінералів і досліджувати пористість матеріалу. Всі ці структурні особливості впливають на процеси здрібнювання, флотації та вилуговування.

Ступінь вивільнення мінералів, досягнута на кожній стадії дроблення може бути кількісно оцінена при мінераграфічних дослідженнях.

Ефективність застосування рудної мікроскопії при збагаченні була обґрунтована багатьма дослідниками, серед яких особливе значення мали роботи П. Рамдора, А.Г. Бетехтіна, Б.И. Пірогова, Дж. Крейга, Д. Вогана, С.А. Юшко, М.П. Ісаєнко та багатьох інших. За результатами досліджень вищевказаних авторів вивчені особливості перетворення рудних мінералів у процесі збагачення, оцінено вплив текстурно-структурних особливостей на ступінь вивільнення рудних мінералів і подано рекомендації з підвищення ефективності збагачення на підставі мінераграфічних досліджень. Деякі приклади застосування рудної мікроскопії при збагаченні за результатами вищевказаних досліджень приводяться нижче.

**Залізо-титанові окисні руди.** У процесі збагачення руд даного типу можливі ускладнення в процесі здрібнювання у зв'язку з тісною асоціацією мінералів. Головні рудні мінерали представлені магнетитом, титаномагнетитом та ільменітом. Відзначається присутність гематиту і сульфідів. Головні нерудні мінерали – піроксен (ромбічний і моноклінний), олівін. Вторинні нерудні мінерали – серпентин, тальк, хлорит, актиноліт, рогова обманка, епідот, кальцит та ін.

Відособлені зерна ільменіту, що легко піддаються збагаченню (рис. 6.1,а), у рудах даного типу зустрічаються в різко підпорядкованій кількості стосовно титаномагнетиту. Крім того, відособлений ільменіт у даних рудах і сам часто містить вrostки магнетиту (магнетитоільменіт), шпінелі та ульвошпінелі.

Характерна риса титаномагнетитових руд даного типу – більшість складових основних рудних мінералів формують так звані структури розпаду твердих розчинів, тобто пластинчасті та гратчасті мікропроростання магнетиту (або гематиту) в ільменіті, які спостерігаються на мікроскопічному рівні при дослідженні у відбитому світлі.

У випадку присутності відособлених зерен ільменіту та магнетиту в грубозернистому мінеральному агрегаті (рис. 6.1,а) дані мінерали можуть бути легко розділені магнітним способом після дроблення.

Однак відособлені зерна ільменіту та магнетиту в окисних титаномагнетитових рудах мають підпорядковане поширення й у їх складі переважає титаномагнетит, тобто тонкі взаємні проростання ільменіту та магнетиту. У випадку структур тісного зрощення ільменіту з магнетитом (рис. 6.1,б) чисто механічний поділ мінералів практично неможливий. Ці дані підтверджуються і результатами рентгеноструктурного аналізу магнітної фракції досліджуваних руд, зокрема високим вмістом у складі магнітної фракції поряд з магнетитом і гематитом також ільменіту, що можливо тільки у випадку збережених зрощень вищевказаних мінералів після збагачення.

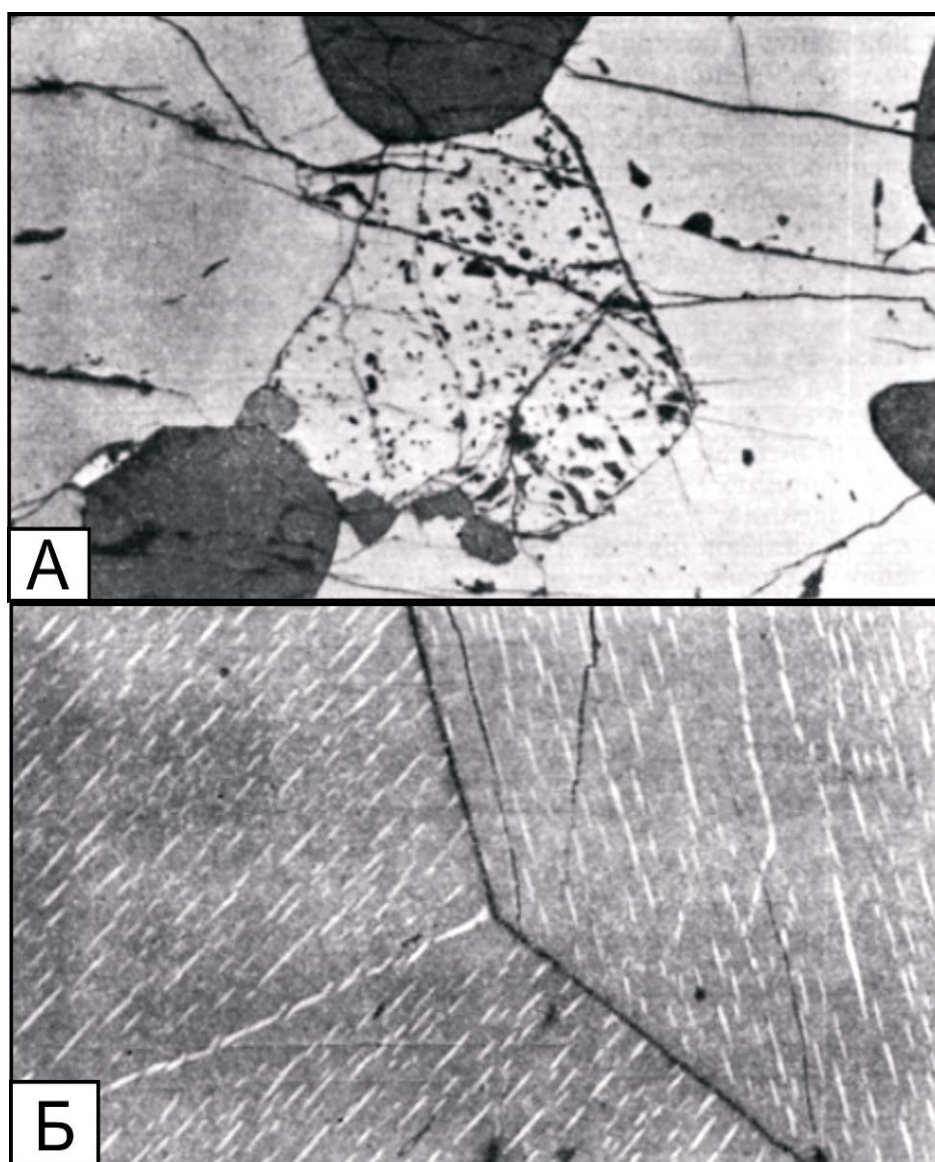


Рис 6.1. Варіанти структур зрощення ільменіту з магнетитом у титаномагнетитових рудах [9]:

А – відособлені зерна рудоутворюючих мінералів (легко збагачувані, з вільним ільменітом і магнетитом – менш поширені в титаномагнетитових рудах );

Б – тісні зрощення ільменіту та магнетиту (важко збагачувані, якщо титаномагнетит переважає) – найпоширеніші в титаномагнетитових рудах, локалізованих в ультрабазитових масивах.

До числа ускладнюючих властивостей руд даного типу відносяться також структури тісних зрощень магнетиту із силікатами та заміщення первинних мінералів вторинними (серпентинізація та уралітизація), що приводить до утворення графічних структур зрощення магнетиту з нерудними мінералами, що практично не піддаються поділу відповідно до класифікації структур руд у зв'язку зі збагаченням.

Згідно з даними Б.И. Пірогова [56], із серпентинізованих руд подібного типу навіть при дуже тонкому здрібнюванні (до 0,044 мм) не одержують кондиційні концентрати.

Ізоморфні домішки та тонкі вrostки продуктів розпаду твердих розчинів, потрапляючи в залізорудний концентрат, з однієї сторони знижують зміст у ньому заліза, а з іншої збільшують зміст  $TiO_2$ ,  $MgO$  та ін.

Таким чином, зниження вмісту заліза в концентратах окисних титано-магнетитових руд обумовлено наступними ускладнюючими властивостями руди:

1) присутністю титаномангнетиту в якості головного рудоутворюючого мінералу, що складається з тонких взаємних зрощень ільменіту та магнетиту за типом структур розпаду твердих розчинів, що практично не піддаються механічному поділу. Ізоморфні домішки та тонкі вrostки продуктів розпаду твердих розчинів, потрапляючи в залізорудний концентрат, з одного боку знижують вміст у ньому заліза, а з іншого – збільшують вміст  $TiO_2$  та інших домішок;

2) наявністю графічних та емульсійних структур зрощення рудних мінералів з нерудними, внаслідок чого в складі рудного концентрату зберігаються зростки рудних мінералів з нерудними, що також знижують вміст заліза та підвищувальний вміст інших домішок ( $MgO$ ,  $SiO_2$  та ін.)

### **6.3 Визначення розмірів мінеральних зерен у руді, вимір площ і кількості мінералів у препараті**

Для виміру величини зерен (пор, пухирців) застосовують лінійний або сітчастий окуляр-мікрометр.

Лінійний окуляр-мікрометр – це скляна пластинка, з нанесеною лінійною шкалою, розділеною на 100 частин. У сітчастому окулярі-мікрометрі на скляну пластинку нанесена квадратна сітка, кожна сторона якої розділена на 20 частин. Лінійний окуляр-мікрометр застосовується для виміру величини досліджуваних зерен; сітчастий – для виміру площ, що доводяться на частку різних мінералів у досліджуваному об'єкті.

Ціна поділки окуляра-мікрометра різна для об'єктивів різного збільшення та визначається за допомогою об'єкта-мікрометра, що являє собою дзеркальну (у петрографії – скляну) пластинку, на яку нанесена лінійка довжиною 1 або 2 мм, розділена на 100 (іноді 200) частин. Таким чином, ціна поділки об'єкта-мікрометра дорівнює 0,01мм. Визначення ціни поділки окуляра-мікрометра проводиться окремо для кожного об'єктива, для цього необхідно:

- вставити окуляр зі шкалою (або сіткою) в окулярну трубку насадки (попередньо не забуваючи відрегулювати його відносно до ока спостерігача).
  - помістити на столик мікроскопа об'єкт-мікрометр і сфокусувати на нього мікроскоп;
  - повернути об'єкт-мікрометр так, щоб його штрихи розташувалися паралельно штрихам шкали (або сітки) окуляра (рис. 6.2).
  - сполучити один зі штрихів об'єкта-мікрометра з початком шкали (або сітки) окуляра.
  - визначити, скільки поділок об'єкта-мікрометра укладається в шкалі (або сітці) окуляра при об'єктивах середнього та великого збільшення або скільки поділок шкали (або сітки) окуляра займає весь об'єкт-мікрометр при об'єктивах малого збільшення.
  - визначити ціну поділки окуляра-мікрометра розрахунковим шляхом.
- Методика розрахунку ціни поділки окуляра-мікрометра трохи відрізняється для об'єктів різного збільшення.

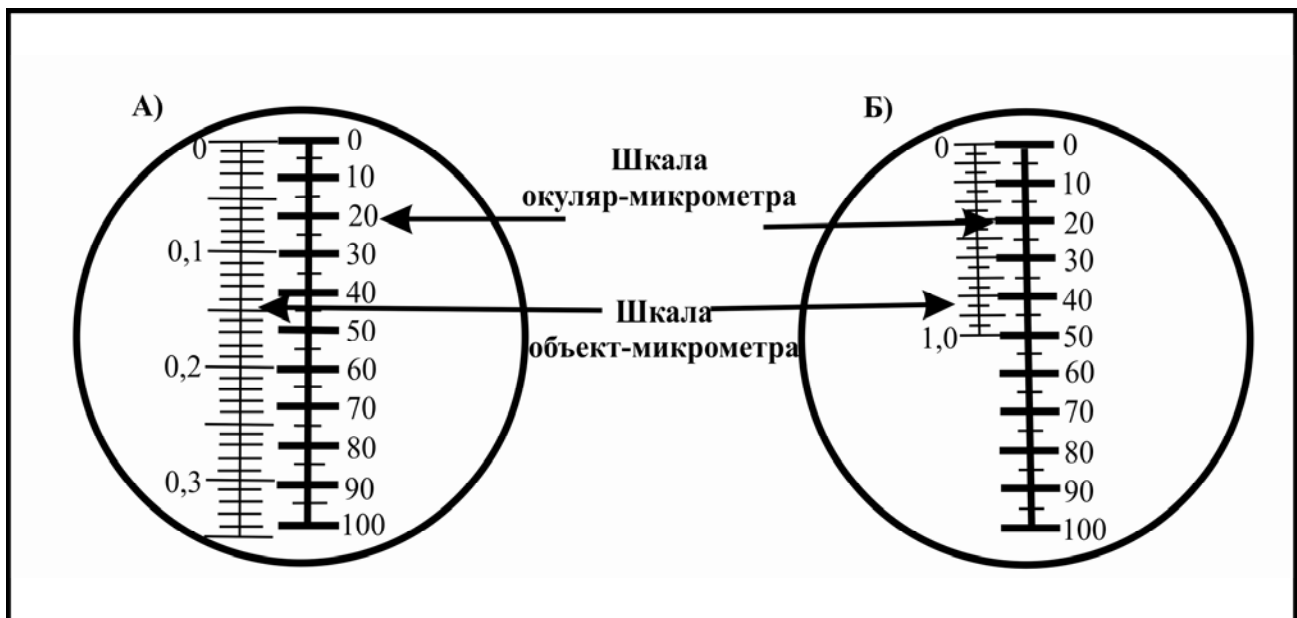


Рис. 6.2. Визначення ціни поділки окуляра-мікрометра при сильному (А) і слабкому (Б) збільшеннях

**Приклад 1.** Для об'єктів малого збільшення (рис. 6.2,б) – повністю помітні обидві шкали (окуляра-мікрометра й об'єкта-мікрометра). Необхідно розрахувати, скільки поділок окуляра-мікрометра припадає на 100 поділок об'єкта-мікрометра. Наприклад, на 100 поділів об'єкта-мікрометра (тобто на 1 мм) припадає 27 поділок окуляра-мікрометра. Для обчислення ціни поділок окуляра-мікрометра зіставляють пропорцію:

$$\frac{1\text{мм}}{x\text{мм}} = \frac{27\text{под.}}{1\text{под.}}, \text{ відповідно } x = \frac{1}{27} = 0,037\text{мм}$$

Таким чином, при даному збільшенні ціна поділки окуляра-мікрометра складе 0,037мм.

**Приклад 2.** Для об'єктів сильного збільшення (рис. 6.2,а) повністю помітна шкала окуляра-мікрометра. Необхідно підрахувати скільки поділок об'єкта-мікрометра приходиться на 100 поділок окуляра-мікрометра.

Наприклад, при об'єктиві зі збільшенням  $20^x$  100 поділок окуляра-мікрометра доводяться на 84 поділки об'єкта-мікрометра. Для обчислення ціни поділки окуляра-мікрометра зіставляють пропорцію:

$$\frac{100}{84} = \frac{1}{x}, \text{ відповідно } x = \frac{84}{100} = 0,84;$$

тобто одна поділка окуляра-мікрометра дорівнює 0,84 поділки об'єкта-мікрометра. Оскільки одна поділка об'єкта-мікрометра становить 0,01мм, то отриману величину множать на 0,01мм, тобто ціна поділки окуляра-мікрометра при об'єктиві зі збільшенням  $20^x$  становить 0,0084 мм. У такий спосіб визначають ціну поділки окуляра-мікрометра для об'єктів різного збільшення.

Отримані дані рекомендується записати в таблицю, складену за такою формою:

Таблиця 6.4

Збільшення об'єктиву	Ціна поділки, мм	
	шкали	сітки
-	-	-
-	-	-

З даних таблиці буде видно, якій істинній лінійній величині в площині об'єкта відповідає одна поділка шкали або сторона квадрата сітки вимірювального окуляра при використанні різних об'єктів. Користуючись цими даними при визначенні істинної лінійної величини об'єкта, досить підрахувати число поділок шкали (або сітки) окуляра, що накладаються на вимірювану ділянку об'єкта, і помножити це число на величину, зазначену в таблиці, відповідно до збільшення застосовуваного об'єктива.

**Визначення розмірів мінеральних зерен.** Для визначення розмірів зерен, що мають витягнуту форму, необхідно вимірювати довжину та ширину. Для зерен неправильної форми встановлюється середній розмір поперечного перерізу. Варто вказувати мінімальний і максимальний розмір. Точність отриманих вимірів залежить від кількості проведених вимірів. При цьому необхідно враховувати і відносні розміри зерен у препараті – якщо препарат рівномірнозернистий, можна виконати менше вимірів.

Послідовність визначення величини зерен наступна.

Встановлюють вимірюване зерно в поле зору таким чином, щоб перший поділка шкали окуляра-мікрометра збігалась з одним із країв зерна. Підраховують, скільки поділок шкали міститься в поперечному перерізі.

Обчислюють розмір зерна, перемножуючи отримане число поділок на ціну поділки окуляра-мікрометра при об'єктиві даного збільшення.

Іноді необхідно визначити збільшення, отримане на мікрофотографії, знятої через мікроскоп. Таке збільшення визначається шляхом ділення розміру зображення предмета на фотографії на істинний розмір того самого предмета, попередньо обмірюваний за допомогою окуляра-мікрометра.

### 6.3.1 Підрахунок кількості мінералів у мікроскопічних препаратах.

При підрахунку кількості мінералів у препараті можна використати 2 методи:

**Лінійний метод підрахунку.** Він заснований на тому, що по довжинах, які займають різні мінерали на шкалі окуляра-мікрометра, судять про їхню кількість у препараті. Полягає метод у наступному: на шліф наноситься ряд ліній, кожна з яких сполучають із лінійкою окуляра-мікрометра і підраховують, скільки поділок доводиться на частку кожного з мінералів, що діагностуються. Отримані дані підсумовують для кожного мінералу і, перерахувавши на 100 %, обчислюють зміст кожного мінералу.

**Площинний метод підрахунку.** Заснований на вимірі площ, займаних кожним мінералом, за допомогою сітчастого окуляра-мікрометра, площа якого складається з 400 кліток, кожна сторона сітки окуляр-мікрометра розділена на 20 частин.

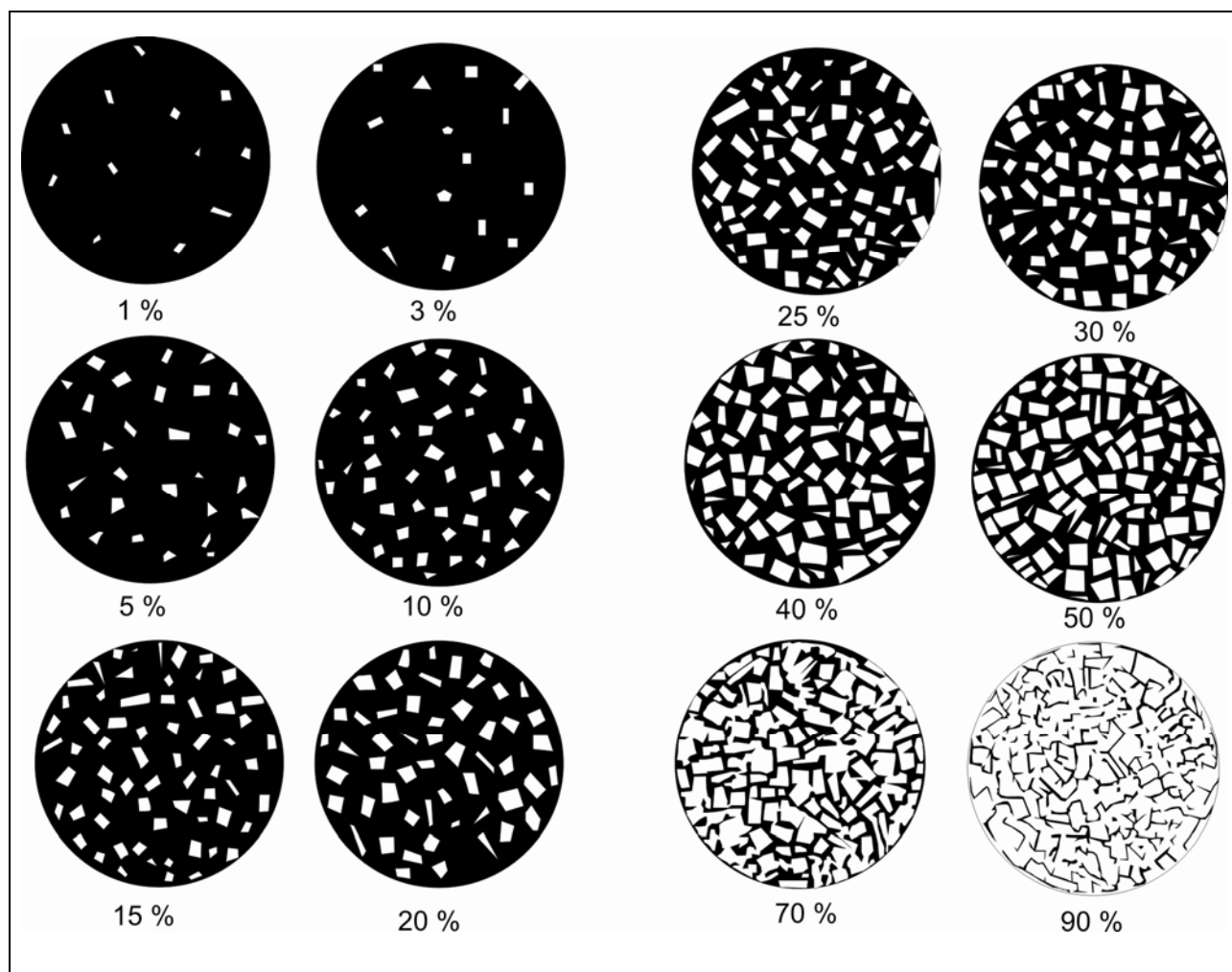


Рис. 6.3. Ілюстрація до порівняльного методу визначення кількості мінералів у полірованих шліфах (по С. Вахромеєву [18]). Відсотковий вміст білих фігурок на чорному фоні показують цифри біля кожної фігури

Послідовність вимірів наступна.

Пересуванням шліфа на столику мікроскопа встановлюють у поле зору яку-небудь його кутову частину.

Обертанням столика мікроскопа домагаються сполучення боків шліфа з вертикальною та горизонтальною нитками хреста окуляра.

Підраховують число кліток, що відноситься до кожного мінералу.

Наприклад, припустимо, що в шліфі присутні 3 мінерали. На частку першого мінералу доводиться 84 клітки об'єкта-мікрометра. Знаючи, що вся площа сітчастого окуляра-мікрометра становить 400 кліток (20x20), зіставляють пропорцію:

$$\frac{400}{84} = \frac{100\%}{x}, \text{ тобто } x = \frac{84 \cdot 100}{400} = 21\%.$$

Якщо на частку другого мінералу приходиться 300 кліток, то шляхом аналогічних розрахунків, він становить 75 %.

На частку третього мінералу припадає 18 кліток, тобто його процентний вміст становить 4,5 %. Практично підрахунок проводиться в 30...50 квадратах.

Часто в практиці мінераграфічних досліджень процентний вміст мінералів в аншліфі визначають, приймаючи поле зору за 100 % і візуально визначаючи яку частину площі займає досліджуваний мінерал. Визначення роблять на різних ділянках аншліфа (шліфа), а потім обчислюють середнє значення.

Існують різні еталони для визначення процентного вмісту мінералів у шліфах і аншліфах (рис. 6.3).

### **Питання для самоконтролю:**

1. Охарактеризуйте поняття «технологічна мінераграфія», «промисловий тип руд», «продуктивний мінеральний парагенезис».
2. Опишіть сприятливі та несприятливі умови для процесу збагачення структури руд в мікроскопічних препаратах.
3. Яким чином компоненти складних зерен можуть впливати на процес збагачення корисних копалин?
4. Охарактеризуйте вплив форми мінеральних зерен та типів зрощень на процес збагачення руд.
5. У який спосіб проводяться визначення розмірів мінеральних зерен та кількості мінералів у мікроскопічних препаратах?

## РОЗДІЛ 7. КОРОТКИЙ ОПИС МІНЕРАЛІВ

### НАВЧАЛЬНІ ЦІЛІ СЬОМОГО РОЗДІЛУ – ВИВЧЕННЯ НАСТУПНОГО МАТЕРІАЛУ:

1. Хімічний склад головних рудоутворюючих мінералів.
2. Фізичні властивості рудних мінералів (колір, твердість, магнітність).
3. Діагностичні властивості рудних мінералів, які потребують мікроскопічних досліджень (коефіцієнт відбиття, двовідбиття, анізотропія, внутрішні рефлекси).
4. Характерні мінеральні парагенезиси.
5. Мікрохімічні реакції діагностичного травлення.

### НА ОСНОВІ НАБУТИХ ЗНАТЬ ЧИТАЧ ПОВИНЕН ВМІТИ:

1. Знати особливості хімічного складу та закономірності поширення головних рудоутворюючих мінералів в родовищах різних генетичних типів.
2. Вміти визначати рудні мінерали в мікроскопічних препаратах за комплексом фізичних властивостей (габітус кристалів, колір, магнітність, мікротвердість).
3. Вміти визначати рудні мінерали за допомогою оптичних методів досліджень (коефіцієнт відбиття, двовідбиття, анізотропія, внутрішні рефлекси).
4. Знати характерні мікрохімічні реакції діагностичного травлення рудних мінералів.



Нижче наводиться опис окремих мінералів за наступною формою. Після найменування мінералу вказуються його хімічна формула і міра поширення; для кожного з мінералів наводяться сингонія, показник відображення для жовтого світла, колір, твердість, відношення до поляризованого світла, діагностичне травлення. Інші властивості (внутрішні рефлексії, магнітність та ін.) вказуються тільки для тих мінералів, для яких вони характерні. Мінерали розташовані в алфавітному порядку.

### 1. Азурит

Хімічна формула азуриту  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ . У земній корі, як правило, трапляється в зонах окислення мідистих карбонатних порід. Сингонія кристалів – моноклінна. Форма мінеральних агрегатів: натічна, радіально-промениста, неправильні скупчення, полігональні зерна. Спайності немає. У відбитому світлі (без застосування світлофільтрів) має сірий колір з ледве помітним рожевим відтінком. Відбивна здатність (R) змінюється від 9 до 7 %, двовідбиття слабе. У косому світлі азурит забарвлений в синій колір. Твердість середня (3,5...4 за Моосом). Порошок, який утворюється при дряпанні блакитнувато-білого кольору, іноді із зеленим відтінком.

Вивчення мінералу при схрещених ніколях ускладнене, оскільки ефекту поляризації заважають яскраві сині кольори внутрішніх рефлексів.

При проведенні діагностичного травлення дія реактивів на мінерал зводиться до наступних хімічних реакцій:

1) в результаті дії розчином  $\text{HNO}_3$  (1:1) відбувається інтенсивне закипання і розчинення азуриту (від розчинення поверхня мінералу стає шорсткою і виявляється структура полігональних зерен);

2)  $\text{HCl}$  – діє так само, як і  $\text{HNO}_3$ ;

3)  $\text{FeCl}_3$  – виявляється структура.

4) від тривалої дії  $\text{KOH}$  (10 хв.) слабо виявляється структура.

6)  $\text{KCN}$  і  $\text{HgCl}_2$  не діють, іноді слабо виявляється структура.

### 2. Айкініт

Хімічна формула  $\text{Cu}_2\text{S} \cdot 2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$ . Трапляється рідко в основному в гідротермальних родовищах  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{U}$ . Сингонія – ромбічна. Мінеральні агрегати зазвичай мають голчасту форму.  $R = 46\%$ . Двовідбиття добре помітне. У відбитому світлі колір порівняно з галенітом кремово-білий. Твердість низька (2...2,5). Ясно анізотропний.

В процесі проведення травлення айкініту реактивами спостерігаються наступні явища:

1) на поверхні мінералу розчин  $\text{HNO}_3$  повільно закипає і забарвлює зону травлення в чорний колір;

2) реакції з розчинами  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$  і  $\text{HgCl}_2$  негативні.

Характерна асоціація айкініту з самородним золотом.

### 3. Алабандін

Хімічна формула  $\alpha\text{-MnS}$  з домішками  $\text{Ge}$ ,  $\text{Ga}$ . Синоніми: марганцевий блиск, марганцева обманка, блюменбахіт. Трапляється рідко в

метаморфізованих марганцевих рудах і спільно з мінералами Au, Ag, Cu, Mo в гідротермальних родовищах. Сингонія – кубічна. R = 25 %. Мінеральні агрегати зазвичай мають зернисту форму. Колір у відбитому світлі сірий, схожий на колір сфалериту. Порошок і внутрішні рефлекси зеленувато-жовті. Твердість середня (3,5...4). Ізотропний.

В процесі проведення травлення реактивами алабандіну спостерігаються наступні явища:

- 1) на поверхні мінералу  $\text{HNO}_3$  закипає, виділяючи  $\text{H}_2\text{S}$ , дає коричневе потьмарення, іноді виявляє зернисту структуру;
- 2)  $\text{HCl}$  – закипає і виділяє  $\text{H}_2\text{S}$  і дає чорне потьмарення;
- 3) реакції з розчинами  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

#### **4. Алтаїт**

Хімічна формула  $\text{PbTe}$ . Рідко трапляється в кварцових жилах з телуридами і сульфідами Au і Ag. Сингонія – кубічна. R = 60 %. Колір у відбитому світлі галенітово-білий. Твердість середня (3). Ізотропний.

При діагностичному травленні поверхні алтаїта реактивами спостерігаються наступні реакції:

- 1) розчин  $\text{HNO}_3$  закипає і забарвлюється в кольори від веселкового до темно-сірого;
- 2)  $\text{HCl}$  – викликає швидке веселкове потьмарення;
- 3)  $\text{KCN}$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Спайність кубічна, але виражена слабкіше, ніж у галеніту: рідкісні трикутні ямки.

#### **5. Англезит**

Хімічна формула  $\text{PbSO}_4$ . Поширений в зонах окислення Pb-Zn родовищ. Сингонія – ромбічна. Утворює призматичні кристали, іноді дуже дрібнозернисті, буває коломорфної та концентрично-зональної будови. R = 10 %. Колір у відбитому світлі сірий. Слабо анізотропний. Твердість середня (2,5...3). Полірується добре. У косому світлі безбарвний, білий або світло-забарвлений домішками оксидів заліза. Порошок білий.

При діагностичному травленні поверхні мінералу розчином  $\text{HNO}_3$  слабо виявляється структура. Реакції травлення розчинами  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

#### **6. Аргентит**

Хімічна формула  $\text{Ag}_2\text{S}$ . Трапляється рідко в гідротермальних Pb-Zn і Co-Ni-Ag родовищах. Мінеральні агрегати зазвичай зернистої, дендритної, волосоподібної форми, а також поширені у вигляді примазок. R = 36 %; двовідбиття дуже слабке. Колір у відбитому світлі порівняно з галенітом зеленувато-сірий. Твердість низька (2...2,5). Добре ріжеться; порошку не дає. Іноді ізотропний. В деяких випадках має аномальну анізотропію.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні реакції:

- 1) пари  $\text{HNO}_3$  дають потьмарення;
  - 2) пари  $\text{HCl}$  дають потьмарення і ореол не змивається;
  - 3)  $\text{KCN}$  – неоднорідно забарвлюється в чорний колір і виявляється структура;
  - 4)  $\text{FeCl}_3$  – швидко забарвлюється в чорний колір;
  - 5)  $\text{KOH}$  – негативна;
  - 6)  $\text{HgCl}_2$  – швидко забарвлюється в чорний колір.
- З вольтовою дугою – світлове травлення.

### 7. Арсенопірит

Хімічна формула  $\text{FeAsS}$  (поширені домішки  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ). Поширений в скарнях, пегматитах, гідротермальних утвореннях і осадових і вулканогенно-осадових породах. Сингонія – ромбічна. Агрегати зернистої і шестоватої форми. Поперечні перерізи часто мають форму ромбів.  $R = 57\%$ ; двовідбиття дуже слабке. Колір у відбитому світлі галенітово-білий. Твердість висока (5,5...6). Сильно анізотропний; при поганій поліровці явище анізотропії важко помітити.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу спостерігаються наступні реакції:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно закипає і неоднорідно забарвлюється у веселковий колір (скипання спостерігається не завжди);
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Від лелінгіту відрізняється білішим кольором і мікрохімічною реакцією на сірку.

### 8. Аурипігмент

Хімічна формула  $\text{As}_2\text{S}_3$ . Поширений в низькотемпературних гідротермальних родовищах з реальгаром, антимонітом, марказитом, гіпсом, опалом, золотом. Трапляється часто у відкладеннях гарячих джерел і в перегонах вулканів, зрідка – гіпергенний і біогенний. Сингонія – моноклінна. Агрегати: зернисті, порошоківі, стовпчасті, ниркоподібні, гроноподібні.  $R = 31\text{...}26\%$ ; двовідбиття високе. Колір у відбитому світлі сірий. Порошок і внутрішні рефлекси жовті. Твердість низька (1,5...2). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу спостерігаються наступні реакції:

- 1)  $\text{HNO}_3$  і  $\text{HCl}$  – негативні;
- 2)  $\text{KCN}$  – забарвлюється і виявляється структура;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – негативно;
- 4)  $\text{KOH}$  – миттєво забарвлюється в темно-коричневий колір;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  – відкладається осад, але поверхня не забарвлюється.

### 9. Барит

Хімічна формула  $\text{BaSO}_4$ . Часто трапляється в гідротермальних родовищах і в осадових гірських породах. Сингонія – ромбічна. Агрегати зернисті, пластинчаті, променисто-волокнисті, стовпчасто-волокнисті.  $R = 6\%$ . Колір у

відбитому світлі темно-сірий. Твердість середня (2,5...3,5) або низька. Явище анізотропії не спостерігається. Внутрішні рефлекси білі або світло-забарвлені. Не травиться в кислотах. Має спайність.

### 10. Берт'єрит

Хімічна формула  $\text{FeS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ . Рідко трапляється в низькотемпературних гідротермальних родовищах Sb, Au, W з сульфідами Sb і ферберитом. Сингонія – ромбічна; форма кристалів призматична або голчаста. Поширені агрегати зернистої, волокнистої і пір'ястої форми.  $R = 38 \dots 27 \%$ ; двовідбиття високе. Колір у відбитому світлі білий. Твердість низька (від 2 до 3). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні реакції:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – неоднорідне потьмарення від коричневих до веселкових кольорів;
- 2)  $\text{HCl}$  – негативна; іноді розчин забарвлюється в жовтий колір;
- 3)  $\text{KCN}$  і  $\text{FeCl}_3$  – негативні;
- 4)  $\text{KOH}$  – дає потьмарення;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  – негативна.

### 11. Боксит

Є тонкою дисперсною механічною сумішшю мінералів: гібситу, беміту, діаспору, гідроксидів заліза та ін. Хімічні формули: гібситу –  $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$ , беміту –  $\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$ , діаспора –  $\alpha\text{-Al}(\text{Mn}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}) \text{O}(\text{OH})$ . Є головною рудою Al родовищ кор вивітрювання і осадового генезису. Агрегати землистої, глинистої, натічної і ооліту форми. Містить домішки Fe, Ti, Si, Mg та ін. Під мікроскопом у відбитому світлі – колір сірий, відбивна здатність низька; у косому світлі – червоні, жовті, сірі, білі внутрішні рефлекси. Ізотропний. Твердість низька.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні реакції:

- 1)  $\text{KOH}$  – поверхня роз'їдається від розчинення;
- 2)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 12. Борніт

Хімічна формула  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ . Дуже поширений. Сингонія – кубічна. Переважно трапляється в суцільних масах або у вигляді неправильної форми зерен.  $R = 21 \%$ . Колір під мікроскопом у відбитому світлі рожево-коричневий. Твердість низька до середньої (2...4). Зазвичай ізотропний, але іноді має слабку аномальну анізотропію.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні реакції:

- 1) на поверхні мінералу розчин  $\text{HNO}_3$  закипає, поверхня забарвлюється в жовтувато-коричневий колір, іноді виявляються своєрідні тріщини спайності;
- 2) реакція з  $\text{HCl}$  – негативна;
- 3) впливаючи  $\text{KCN}$ , поверхня аншліфу забарвлюється в коричневий колір;

4)  $\text{FeCl}_3$  – забарвлюється в помаранчевий колір;

5) реакції з розчинами  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  негативні.

Зазвичай асоціює з халькопіритом, халькозином і іншими мінералами міді.

У борніті трапляється халькопірит у вигляді пластинчатих вrostків, що розташовуються в кристалічній решітці та утворюються при розпаді твердого розчину; халькозин утворює у борніті складні графічні проростання або петельчасті і плямисті виділення. Борніт відомий як первинний (гіпогенний) і як вторинний (супергенний) мінерал.

### 13. Бравоїт

Хімічна формула  $(\text{Fe}, \text{Ni})\text{S}_2$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна. Ізометричні кристали часто зональної будови. Часто поширені неправильні за формою маси бравойту, що утворюються при заміщенні пентландиту.  $R = 41\%$ . Колір під мікроскопом у відбитому світлі блідо-фіолетовий, мінливий. Твердість вища за середню (4...5). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу розчинами реактивів спостерігаються наступні реакції:

1) пари  $\text{HNO}_3$  дають потьмарення, веселкове забарвлення і виявляють зональну внутрішню структуру

2) реакції з розчинами  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  негативні.

### 14. Брауніт

Хімічна формула  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Поширений. Сингонія тетрагональна.  $R = 18\%$ . Колір у відбитому світлі сірий. Слабкі бурі рефлексії, помітні з масляною імерсією. Твердість висока (6). Слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу розчинами реактивів спостерігаються наступні реакції:

1) на поверхні мінералу розчин  $\text{H}_2\text{O}_2$  повільно закипає, поверхня не забарвлюється;

2) реакції з розчинами  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  і царською горілкою негативні;

При дряпанні дає темно-коричневий порошок. Часто асоціюється з гаусманітом.

### 15. Брейтгауптит

Хімічна формула  $\text{NiSb}$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна, кристали призматичні.  $R = 50\text{...}40\%$ ; двовідбиття високе. Колір у відбитому світлі ніжно-рожевий. Твердість середня (4). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу розчинами реактивів спостерігаються наступні реакції:

1)  $\text{HNO}_3$  – забарвлюється в неоднорідно-веселковий колір;

2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  – негативні;

3)  $\text{FeCl}_3$  – забарвлюється в неоднорідно-веселковий колір.

## 16. Буланжерит

Хімічна формула  $5\text{PbS}\cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Поширений. Сингонія – ромбічна; форма призматична і голчаста.  $R = 37\%$ ; двовідбиття слабке. Колір у відбитому світлі білий, порівняно з галенітом зеленуватий. Твердість низька (2). Сильно анізотропний. У маслі – слабкі червоні рефлекси.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу розчинами реактивів спостерігаються наступні реакції:

1)  $\text{HNO}_3$  – закипає, поверхня забарвлюється в чорний колір, нерідко дія спочатку повільна;

2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Від джемсоніту відрізняється реакцією з  $\text{KOH}$ .

## 17. Бурноніт

Хімічна формула  $\text{Cu}_2\text{S}\cdot 2\text{PbS}\cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна.  $R = 33\%$ . Колір у відбитому світлі світло-сірий, порівняно з галенітом блакитнувато-зеленуватий. Твердість середня (3...3,5). Слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу розчинами реактивів спостерігаються наступні реакції:

1) дія парів  $\text{HNO}_3$  дає повільне потьмарення; іноді трохи тьмяніє і набуває світло-коричневого кольору;

2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

3) царська горілка закипає і забарвлюється у веселковий колір. Відрізняється від тетраедриту за допомогою поляризованого світла.

## 18. Валентиніт

Хімічна формула  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Звичайний. Сингонія – ромбічна.  $R = 16\text{--}14\%$ . Колір у відбитому світлі сірий. Твердість низька. Анізотропний. Двовідбиття слабке. Внутрішні рефлекси жовті або безбарвні. Реакції діагностичного травлення не вивчені. Продукт окислення антимоніту. Звичайні радіально-променисті форми зерен.

## 19. Валлеріт

Хімічна формула  $\text{Cu}_2\text{S}\cdot 2\text{Fe}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна. Спостерігається у вигляді дрібних і найдрібніших зерняток ізометричної або витягнутої форми. Трапляється в мідно-нікелевих рудах в асоціації з халькопіритом, кубанітом і піротином.  $R = 46\text{--}15\%$ . Двовідбиття дуже високе, що є дуже характерним. Колір у відбитому світлі кремово-білий, такий, що різко міняється завдяки дуже сильному двовідбиттю. Твердість середня (3...3,5). Сильно анізотропний.

Звичайні реактиви не діють, крім тих, що вміщують хлор.

## 20. Ванадиніт

Хімічна формула  $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3$ . Дуже рідкісний. Сингонія – гексагональна.  $R$  – менше 10%. Форма зерен призматично-подовжена. Колір у відбитому

світлі сірий. Твердість низька (2). У косому світлі має світло-буровато-жовтий колір. Порошок світлий. Полірується добре. У схрещених ніколях спостерігаються внутрішні рефлекси. Слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу розчинами реактивів спостерігаються наступні реакції:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – темніє, жовтий наліт (у косому світлі);
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$  і  $\text{HgCl}_2$  не діють;
- 3)  $\text{KOH}$  – темніє, утворюється білий наліт;
- 4)  $\text{H}_2\text{O}_2$  – закипає, утворюється жовтий наліт (у косому світлі).

## 21. Вернадит

Хімічна формула  $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Поширений. Колоїд. Утворюється в результаті окислення силікатів і карбонатів марганцю. Хімічно рідко буває чистим: завжди є присутніми домішки псиломелану, кремнезему, гідроокисів заліза. Спостерігається у вигляді щільних чорних, блискучих в зламі утворень або рихлих порошковатих мас коричневого кольору. Риса коричнева або шоколадно-бура. Під мікроскопом у відбитому світлі колір сірий. Відображення низьке. Твердість низька (2...3). Ізотропний або слабо анізотропний.

У кислотах, особливо в соляній, дуже легко розкладається з виділенням хлору. В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу часто виступає коломорфна будова.

## 22. Віоларит

Хімічна формула  $(\text{Ni}, \text{Fe})_3\text{S}_4$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 40\%$ . Колір у відбитому світлі фіолетовий, такий, що швидко змінюється на повітрі. Твердість середня (3...3,5). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно закипає, поверхня забарвлюється в коричневий колір;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Спостерігається іноді спайність і трикутні ямки викрашування. Асоціює з пентландитом і іншими сульфідами, які вміщують нікель, є продуктом їх заміщення.

## 23. Вісмут

Хімічна формула  $\text{Bi}$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна.  $R = 68\%$ ; двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі порівняно з галенітом кремово-білий. Твердість низька (1...1,5). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипає і темніє;
- 2)  $\text{HCl}$  – неоднорідно забарвлюється в темний колір; іноді виявляє пластинчасту структуру;
- 3)  $\text{KOH}$ ,  $\text{KCN}$  – негативні;

- 4)  $\text{FeCl}_3$  – миттєво забарвлюється у веселковий колір;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  – забарвлюється плямами в коричневий колір; реакція сумнівна. Темніє на повітрі.

#### 24. Вісмутин

Хімічна формула  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна; форма призматична.  $R = 48\text{...}42\%$ ; двовідбиття ясно помітно. Колір у відбитому світлі білий із слабким кремовим відтінком. Твердість низька (2). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно закипає і забарвлюється в чорний колір;
- 2)  $\text{HCl}$  – пари дають потьмарення;
- 3)  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  – негативні;
- 4)  $\text{HgCl}_2$  – забарвлюється у світло-коричневий колір; іноді не діє;
- 5) царська горілка – слабо закипає, буріє, виявляється структура.

Спостерігаються двійники. Асоціює з халькопіритом і самородним вісмутом.

#### 25. Вітихеніт

Хімічна формула  $3\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{Bi}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна.  $R = 34\%$ . Колір у відбитому світлі кремово-сірувато-білий. Твердість нижча за середню (2...2,5). Явище анізотропії помітне тільки з імерсією.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – іризує потьмарення;
- 2) від царської горілки швидко стає світло-коричневим;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – забарвлюється у світло-коричневий колір;
- 4)  $\text{KOH}$  – забарвлюється у веселковий колір;
- 5)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

#### 26. Вольфраміт

Хімічна формула  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ . Поширений. Сингонія – моноклінна. Часто, добре освічені кристали  $R = 16\%$ . Колір у відбитому світлі сірий, подібний сфалериту. Твердість вища за середню (4...5,5); дряпається голкою при сильному натиску. Слабо анізотропний. Негативний до усіх реактивів. Має спайність в двох напрямках. Дає темно-коричневий порошок. Рефлекси червоні або бурі, помітні з імерсією. Залізисті різновиди мають слабку магнітність.

#### 27. Вуртцит

Хімічна формула  $\text{ZnS}$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна; часто має радіально-променисту будову і утворює коломорфні маси.  $R = 17\%$ . Колір у відбитому світлі сірий. Внутрішні рефлекси бурі або жовті. Твердість середня (3...3,5). Слабо анізотропний.



В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) пари  $\text{HNO}_3$  дають потьмарення;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;

3) пари царської горілки дають потьмарення, поверхня забарвлюється у коричневий колір.

Трапляється найчастіше у вигляді облямівок на сфалериті і інших сульфідах. У штуфах, як і в полірованих шліфах, сфалерит і вуртцит важко розрізнити. Єдиний надійний спосіб їх розрізнити – спостереження осколків цих мінералів під мікроскопом при схрещених ніколях: сфалерит ізотропний, а вуртцит має помітне двовідбиття.

## 28. Галеніт

Хімічна формула  $\text{PbS}$ . Дуже поширений. Сингонія – кубічна. Зазвичай трапляється в зернистих агрегатах або у вигляді ксеноморфних вкраплень. Досконала кубічна спайність. Більшість зразків мають паралельні трикутні ямки викрашування по спайності.  $R = 43\%$ . Колір у відбитому світлі галенітово-білий (еталон білого кольору). Твердість середня (2...4). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1)  $\text{HNO}_3$  – забарвлюється в чорний колір; іноді закипає, нерідко витравлюється емульсійна структура розпаду – галеніту і аргентиту або інших мікроскопічних включень;

2)  $\text{HCl}$  – дає потьмарення в коричневий веселковий колір;

3)  $\text{FeCl}_3$  – дає веселкове потьмарення; ця реакція негативна, якщо галеніт є у контакті з борнітом;

4)  $\text{KCN}$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Іноді при травленні виявляється внутрішня зональна структура.

Галеніт трапляється майже виключно в гідротермальних утвореннях в парагенезисі зі сфалеритом, тетраедритом і з мінералами, які вміщують срібло. Слід зазначити, що в галеніті може бути срібло у вигляді механічних включень і твердого розчину. У поверхневих умовах галеніт часто заміщається по спайності церуситом, який розвивається у вигляді своєрідного «мереживного» візерунка.

## 29. Галмей (каламін)

Хімічна формула  $\text{Zn}(\text{OH}) \cdot 2\text{SiO}_2$ . Поширений. Трапляється в зоні окислення цинкових родовищ.  $R$  менше 10%. Колір у відбитому світлі сірий, дещо світліше за нерудні мінерали (кальцит, кварц тощо). Твердість вище середньої (4...4,5); сталевую голкою дряпається важче, ніж сфалерит. У косому світлі має колір водяно-прозорий, жовтий, сірий, білий, зеленуватий. У схрещених ніколях явище поляризації маскується кольором внутрішніх рефлексів.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) від  $\text{HNO}_3$  поверхня мінералу стає ямчатою і шорсткою; виявляється структура окремих призматичних зерен;
- 2)  $\text{HCl}$  – виявляє структуру у вигляді окремих подовжено-призматичних зерен;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – виявляє спайність, форму зерен і структуру;
- 4)  $\text{KCN}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 30. Гарнієрит

Хімічна формула  $(\text{Ni}, \text{Mg})\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Поширений. Трапляється разом з іншими нікелевими силікатами у вигляді ниркоподібних утворень, сталактитів і землистих мас. Аморфний.  $R$  – менше 10 %. Колір у відбитому світлі сірий. Твердість низька (2), полірується добре. Ізотропний. У косому світлі зелені внутрішні рефлекси.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) при дії  $\text{HNO}_3$  слабо виявляється структура від розчинення;
- 2)  $\text{KCN}$  – також виявляє структуру;
- 3)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 31. Гаусманіт

Хімічна формула  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ . Рідкісний. Сингонія – тетрагональна.  $R = 20\%$ ; двовідбиття слабке. Колір у відбитому світлі сірий із слабким блакитним відливом. Твердість висока. Добра спайність по пінакоїду. Порошок і внутрішні рефлекси темно-червоні або бурі. Добре полірується. Сильно анізотропний; більшість зразків мають численні двійники, схожі на двійники плагіоклазу.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) пари  $\text{HNO}_3$  дають потьмарення; на деякі зразки не діє;
- 2)  $\text{HCl}$  – місцями неоднорідне коричневе потьмарення, на деякі ділянки не діє;
- 3)  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;
- 4)  $\text{H}_2\text{O}_2$  – повільно закипає без травлення поверхні.

### 32. Гематит

Хімічна формула  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Дуже поширений. Сингонія – гексагональна. Спостерігається у вигляді призматично подовжених пластинок, які в перерізі полірованого шліфа мають форму, подібну до голок. Заміщаючи магнетит, дає псевдоморфні ізометричні форми зерен (мартит). Землисті різновиди гематиту мають коломорфну будову. Полірується гірше за магнетит, завжди ямчатий.  $R = 25\%$ . Колір у відбитому світлі сірувато-білий. Сильно анізотропний. Твердість висока (5...6,5), сталевую голкою не дряпається. Порошок червоний, немагнітний. У косому світлі в тонких пластинках іноді просвічує рубіново-червоним кольором, внутрішні рефлекси добре помітно з масляною імерсією.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KCN}$  – не діють;
- 2)  $\text{HCl}$  (концентрована) + електричний струм – травлення з легким побурінням, іноді виявляється структура;
- 3)  $\text{HF}$  – виявляється структура.

### 33. Германіт

Хімічна формула  $\text{Cu}_3(\text{Fe,Ge})\text{S}_4$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 22\%$ . Колір у відбитому світлі рожево-сірий, подібний кольору рожевого енаргіту. Твердість середня (3...3,5). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) царська горілка – повільно забарвлюється у світло-коричневий колір;
- 2)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 34. Герсдорфіт

Хімічна формула  $\text{NiAsS}$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 49\%$ . Колір у відбитому світлі білий. Твердість висока (6...6,5). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипає і забарвлюється у веселковий колір (сірий і коричневий кольори), іноді виявляється структура, на деякі зразки не діє;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 35. Гесит

Хімічна формула  $\text{Ag}_2\text{Te}$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 41\%$ . Колір у відбитому світлі сірувато-білий. Твердість низька (1...1,5). Деякі зразки ізотропні або мають аномальну анізотропію. На одній і тій самій поверхні мінералу можуть бути ділянки ізотропні і анізотропні.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – забарвлюється у веселкові кольори, іноді чорніє;
- 2)  $\text{HCl}$  – повільно забарвлюється в чорний колір; негативна на невеликих площах;
- 3)  $\text{KCN}$  – дає чорні плями, діє слабо;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – швидко забарвлюється у веселковий колір;
- 5)  $\text{KOH}$  – негативна;
- 6)  $\text{HgCl}_2$  – світло-коричнeve потьмарення.

Характерні полісинтетичні двійники. З вольтовою дугою – світлове травлення.

### 36. Гетит

Хімічна формула  $\text{FeO}\cdot\text{OH}$ . Поширений. Сингонія – ромбічна.  $R = 20\%$ ; двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі сірувато-білий. Твердість вища за середню (4...4,5). Порошок коричневий. Анізотропний. Часто має волокнисто-радіальну будову. Червоно-бурі або коричневі внутрішні рефлекси.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) пари HCl дають легке потьмарення;
- 2) HNO<sub>3</sub>, KCN, FeCl<sub>3</sub>, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні;
- 3) царська горілка діє так само, як HCl.

### 37. Гідрогетит

Хімічна формула FeO·OH·nH<sub>2</sub>O. Поширений. Сингонія – ромбічна. Трапляється в суцільних масах і в радіально-променистих агрегатах. R = 17 %. Колір у відбитому світлі сірий. Твердість середня (4). Внутрішні рефлекси жовто-бурі, у щільних різниць майже відсутні. Колір порошку жовто-бурий. Двовідбиття і явище анізотропії не спостерігаються.

Різні мінеральні типи поводяться неоднаково по відношенню до HCl і суміші HCl+SnCl<sub>2</sub>.

### 38. Глаукодот

Хімічна формула (Co,Fe)AsS. Рідкісний. Сингонія – ромбічна. Загальний вигляд кристалів – як і у арсенопіриті, але кристали глаукодоту більше витягнуті по вертикальній осі. R = 57 %. Колір у відбитому світлі білий із слабким рожевуватим відтінком. Твердість висока (6...6,5). Полірується добре (краще за арсенопірит). Сильно анізотропний, але слабкіше, ніж арсенопірит.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – веселкове потьмарення (труїться слабкіше, ніж арсенопірит);
- 2) HCl, KCN, FeCl<sub>3</sub>, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні.

### 39. Гранат

Хімічна формула R<sup>2</sup><sub>3</sub>\*R<sup>3</sup><sub>2</sub>\*(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, де R<sup>2</sup> = Ca, Mg, Fe, Mn; R<sup>3</sup> = Al, Fe, Cr, Ti. Поширений. Сингонія – кубічна. Трапляється у вигляді ізометричних кристалів або суцільних зернистих мас. Зазвичай супроводжуючий мінерал руд контактово-метасоматичних родовищ. R = 9 %. Колір у відбитому світлі сірий, темніше за сфалериту і магнетит, але світліше за кварц і кальцит. Твердість висока (6,5...7,5). Внутрішні рефлекси червоні, бурі, жовті, зелені. Ізотропний. Спайність відсутня.

### 40. Графіт

Хімічна формула C. Поширений. Сингонія – тригональна. За формами зерен нагадує MoS<sub>2</sub> (подовжені пластинки). Відрізняється від MoS<sub>2</sub> доброю електропровідністю. R = 22...5 %. Дуже високе двовідбиття. Колір у відбитому світлі сірий з рожевим відтінком. Твердість низька (1...1,5). Полірується погано. Порошок чорний. Сильно анізотропний. Дія усіх реактивів негативна.

### 41. Гринокіт

Хімічна формула CdS. Дуже рідкісний. Сингонія – гексагональна. Трапляється у вигляді нальотів і рідко в кристалах, асоціюючи з сфалеритом.

R = 17 %. Колір у відбитому світлі сірий. Твердість середня (3...3,5). Внутрішні рефлекси сильні – жовті, іноді помаранчево-червоні. Явище анізотропії при схрещених ніколях не спостерігається (заважають внутрішні рефлекси).

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – поверхня слабо тьмяніє, виявляються тріщини;
- 2)  $\text{HCl}$  – дія неясна;
- 3)  $\text{KOH}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$  – негативні.

#### **42. Гюбнерит**

Хімічна формула  $\text{MnWO}_4$ . Поширений. Сингонія – моноклінна. R = 14 %. Колір у відбитому світлі сірий, подібний до кольору сфалериту. Твердість вища за середню (3...3,5). У косому світлі або з імерсією дає червоні внутрішні рефлекси. Порошок жовтий. Сильно анізотропний. У відбитому світлі важко відрізняється від вольфрамиту і фербериту.

Не травиться усіма звичайними реактивами.

#### **43. Джемсоніт**

Хімічна формула  $4\text{PbS} \cdot \text{FeS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – моноклінна. Призматичний. Досконала спайність по пінакоїду. R = 38...32 %; двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі галенітово-білий. Твердість низька (2–2,5). Сильно анізотропний. З масляною імерсією іноді помітні червоні внутрішні рефлекси.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – веселкове потьмарення при повільному закипанні;
- 2)  $\text{HCl}$  – пари дають потьмарення;
- 3)  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  і  $\text{FeCl}_3$  – негативні;
- 4)  $\text{KOH}$  – веселкове потьмарення.

#### **44. Дискразит**

Хімічна формула  $\text{Ag}_3\text{Sb}$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна. R = 66 %. Колір у відбитому світлі кремово-білий. Твердість середня (3...4,5). Майже ріжеться, але при дряпанні дає порошок. Ізотропний; іноді слабо анізотропний.  $\text{HNO}_3$  – швидко забарвлюється в чорний колір; на деяких зразках виявляється решітчаста структура.  $\text{HCl}$  – негативна.  $\text{KCN}$  – повільно забарвлюється в коричневий колір.  $\text{FeCl}_3$  – швидко забарвлюється у веселковий колір і виявляється структура.  $\text{KOH}$  – негативна.  $\text{HgCl}_2$  швидко забарвлюється в коричневий колір.

#### **45. Залізо**

Хімічна формула  $\text{Fe}$ . Як природний мінерал трапляється дуже рідко. R = 64 %. Колір у відбитому світлі білий з червоним відтінком. Твердість середня (4...5). Полірується добре. Ізотропний. Магнітний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно закипає, темніє;
- 2)  $\text{HCl}$  – повільно закипає, від парів тьмяніє;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – темніє, іризує;
- 4)  $\text{HgCl}_2$  – чорніє;
- 5)  $\text{KOH}$  – негативна.

#### 46. Зигеніт

Хімічна формула  $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 46\%$ . Колір у відбитому світлі рожевувато-білий. Твердість вище середньою (4...4,5). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – не змінюється або повільно стає коричневим;
- 2)  $\text{HgCl}_2$  – не змінюється або слабо тьмяніє;
- 3)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  – не діють.

Трапляється в мідно-піротинових рудах. Мікроскопічно не відрізняється від лінеїту.

#### 47. Золото

Хімічна формула  $\text{Au}$ . Рідкісне. Сингонія – кубічна. Зазвичай форми золотинок ізометричні; іноді у вигляді: жилок, дендриту і облямівок.  $R = 84\%$ , дещо міняється від домішки  $\text{Ag}$ . Колір у відбитому світлі жовтий. Сильний блиск, внаслідок дуже високого показника відображення. Халькопірит у присутності золота здається тьмяно-зеленувато-жовтим. М'яке, твердість низька (2). Ковке. Полірується важко. Дуже дрібні золотинокки, включені в твердих мінералах, можуть бути помічені під мікроскопом тільки у безрельєфних полірованих шліфах. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  – негативні;
- 2)  $\text{KCN}$  – повільно чорніє, шорстка поверхня від розчинення, іноді виявляється структура;
- 3)  $\text{KCN} + \text{CaF}_2$  – проявляється гравіювання;
- 4) з  $\text{Hg}$  – утворюється біла амальгама і виявляється структура;
- 5) дія царської горілки сприяє проявленню структури.

На відміну від халькопіриту впродовж 1 хв. не змінюється від травлення насиченим розчином  $\text{AgNO}_3$  (халькопірит – чорніє).

#### 48. Ільменіт

Хімічна формула  $\text{FeTiO}_3$ . Дуже поширений. Сингонія – гексагональна. Форма зерен евгедральна. Іноді дає ґратки призматичних зерен в магнетиті; містить включення пластинок гематиту. Нерідкі подовжені призматичні зерна.  $R = 17\%$ ; двовідбиття слабке. Колір у відбитому світлі буро-сірий; у олії в порівнянні з магнетитом має червонувато-коричневий відтінок. З масляною імерсією можна іноді помітити темно-бурі внутрішні рефлекси. Твердість висока (6...6,5), голкою не дряпається. Полірується середньо, як магнетит.

Порошок чорний, немагнітний. Електропровідність слабка. Сильно анізотропний.

Усі звичайні реактиви не діють.

При дії реактивами:

- 1) HCl + електричний струм – травлення з утворенням осаду;
- 2) HF – виявляється структура.

Ільменіт – головний складовий мінерал титаномагнетитових руд. Він може зустрічатися в них у вигляді індивідуалізованих зерен розміром до 1 мм та у решітчастих зростках з магнетитом.

#### **49. Іорданіт**

Хімічна формула  $4\text{PbS}\cdot\text{As}_2\text{S}_3$ . Дуже рідкісний. Сингонія – моноклінна. Трапляється в суцільних агрегатах і кристалах. R = 38 %; двовідбиття дуже слабе. Колір у відбитому світлі галенітово-білий. Твердість нижча за середню (3). Крихкий. Полірується добре. Явище анізотропії помітне при сильному освітленні.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) царська горілка – закипає, чорніє;
- 2) HNO<sub>3</sub> – тьмяніє;
- 3) KCN, FeCl<sub>3</sub>, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні.

#### **50. Калаверит**

Хімічна формула (Au, Ag) Te<sub>2</sub>. Рідкісний. Сингонія – моноклінна. Форма призматична. R = 56 %; двовідбиття слабе. Колір у відбитому світлі порівняно з галенітом ясно-жовтий. Твердість низька (2,5). Слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – закипає, поверхня забарвлюється в чорний колір;
- 2) HCl, KCN, KOH і HgCl<sub>2</sub> – негативні;
- 3) FeCl<sub>3</sub> – на більшості зразків негативно, деякі повільно забарвлюються у світло-коричневий колір.

#### **51. Кальцит**

Хімічна формула CaCO<sub>3</sub>. Дуже поширений. Сингонія – тригональна. Колір у відбитому світлі темно-сірий. R = 6...4 %; двовідбиття сильне. Твердість середня (3...3,5). Полірується добре. Часто помітні двійникові смужки. Сильно анізотропний, але спостереженню явища анізотропії при схрещених ніколях заважають внутрішні рефлекси. Легко травиться усіма кислотами.

#### **52. Каситерит**

Хімічна формула SnO<sub>2</sub>. Поширений. Сингонія – тетрагон. Форма евгедрально-ізометрична. R = 11 %. Колір у відбитому світлі сірий. Твердість висока (7...7,5), не дряпається голкою. Погано полірується. У косому світлі буро-бурштиновий. Порошок безбарвний. Полірується погано, завжди

ямчастий. У поляризованому світлі іноді помітні двійники, іноді міняється від сіро-зеленого до сіро-рожевого кольору, часто явища поляризації затемнюють внутрішні рефлекси.

Усі реактиви не діють.

При дії HCl + електричний струм – слабке побуріння.

При проведенні суцільного травлення (мінерал занурюється повністю в чашку з HCl 1:5 і шматочком цинку) на протязі від 5 до 20 хвилин на каситериті з'являється внаслідок відновлення воднем тонкий наліт металевого олова, який віддаляється HNO<sub>3</sub>, після чого спостерігається внутрішня структура каситериту.

### 53. Кварц

Хімічна формула SiO<sub>2</sub>. Дуже поширений. Сингонія – тригональна. R = 4,5 %. Колір у відбитому світлі темно-сірий. Твердість висока (6...6,5), але полірується добре. Світлі, іризуючі внутрішні рефлекси. Явище анізотропії непомітне.

Усі звичайні реактиви не діють.

### 54. Кераргірит

Хімічна формула AgCl. Рідкісний. Сингонія – кубічна. R = 12 %. Колір у відбитому світлі сірий. У косому світлі має восковий жовтий відтінок. Твердість низька (1...1,5). Дуже добре ріжеться; це – найхарактерніша властивість кераргіриту. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub>, HCl, FeCl<sub>3</sub> і HgCl<sub>2</sub> – негативні;
- 2) KCN – миттєво забарвлюється в сіро-коричневі кольори;
- 3) KOH – забарвлюється в коричневий колір.

### 55. Кермезит

Хімічна формула 2Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>\*Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Дуже рідкісний. Сингонія – ромбічна або моноклінна. Трапляється у вигляді радіально-променистих агрегатів і в суцільних масах. Є проміжним продуктом окислення стибніту. R = 25 %; помітно двовідбиття. Колір у відбитому світлі білий з блакитнуватим відтінком. Твердість низька (2). Внутрішні рефлекси червоні. Порошок червонувато-коричневий. Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) царська горілка – закипає, темніє;
- 2) KOH – відкладає жовтий наліт (дуже характерно);
- 3) HNO<sub>3</sub> – буріє (?);
- 4) HCl, KCN, FeCl<sub>3</sub>, HgCl<sub>3</sub> – негативні.

### 56. Кіновар

Хімічна формула HgS. Поширена. Сингонія – гексагональна. Форма зерен неправильна, іноді з кристалічними контурами. Окрім кристалів, трапляється в порошковатих і землястих масах. R = 27 %; двовідбиття ясно помітне. Колір у



відбитому світлі порівняно з галенітом блакитнувато-білий. Твердість низька (2). Полірується добре. У косому світлі карміново-червона. Порошок червоний. Сильно анізотропний, але внутрішні рефлекси заважають визначати анізотропію.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  – негативні;
- 2) царська горілка – іризує, іноді закипає, наліт стирається начисто. Часто асоціює з сурм'яним блиском.

### **57. Клаусталіт**

Хімічна формула  $\text{PbSe}$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 49\%$ . Колір у відбитому світлі білий. Твердість низька (2). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – тьмяніє, на поверхні утворюється червоний осад (дивитися в косому світлі);
  - 2)  $\text{HCl}$  – буріє, іризує, іноді не змінюється;
  - 3)  $\text{FeCl}_3$  – тьмяніє, іризує;
  - 4)  $\text{KCN}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – не діють.
- Схожий з галенітом. Відрізняється підвищеним  $R$  і зниженим рельєфом.

### **58. Клокманіт**

Хімічна формула  $\text{CuSe}$ . Дуже рідкісний. Сингонія – гексагональна.  $R = 30\text{--}18\%$ ; двовідбиття сильне. Колір у відбитому світлі зеленувато-сірий. Твердість нижча середньої (2...3). Сильна анізотропія, подібна до ковеліну.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) від парів  $\text{HNO}_3$  тьмяніє;
- 2)  $\text{HCl}$  – кислота жовтіє, мінерал не травиться;
- 3)  $\text{KCN}$  – швидко чорніє;
- 4)  $\text{KOH}$  – повільно забарвлюється в коричневий колір;
- 5)  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Дуже схожий з ковеліном, від якого відрізняється зеленуватим відтінком.

### **59. Кобальтин**

Хімічна формула  $\text{CoAsS}$ . Поширений. Сингонія – кубічна. Зазвичай кристалізується в кубах і пентагональних додекаедрах.  $R = 51\%$ . Колір у відбитому світлі рожевувато-білий. Твердість висока (6...6,5). Деякі зразки ізотропні, інші аномально слабо анізотропні.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – в деяких випадках після довгого травлення на поверхні мінералу формується різнокольорова плівка, пари  $\text{HNO}_3$  дають потьмарення, іноді її дія негативна;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  – негативні.

## 60. Ковелін

Хімічна формула  $\text{CuS}$ . Дуже поширений. Сингонія – гексагональна. Форма ангедральна: жилки, облямівки; у халькозині утворює іноді подовжено-призматичні зерна.  $R = 26 \dots 18 \%$ . Двовідбиття дуже високе: мінерал міняється в кольорі від блідо-голубого до волошково-синього. Колір у відбитому світлі синій. Твердість низька (2). Полірується добре. Сильно анізотропний; у схрещених ніколях змінюється в кольорі від синього до червоного (внаслідок дрібнозернистості агрегатів явища в поляризованому світлі слід спостерігати при сильному збільшенні і при зімкнутій до мінімуму діафрагмі).

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  і  $\text{KOH}$  – негативні;
- 2)  $\text{KCN}$  – стає червонясто-темним, виявляється структура;
- 3)  $\text{AgNO}_3$  – утворюється наліт металевого  $\text{Ag}$ ;
- 4) царська горілка – слабо закипає і трохи червоніє.

## 61. Колумбіт-танталіт

Хімічна формула  $(\text{Fe}, \text{Mn})^*(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$ . Дуже рідкісний. Сингонія – ромбічна.  $R = 18 \%$ . Колір у відбитому світлі сіро-білий. Твердість висока (6...6,5). Евгедральний. Полірується середньо. Іноді червоний в косому світлі. Слабо анізотропний. Усі реактиви не діють.

## 62. Кренерит

Хімічна формула  $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$ . Дуже рідкісний. Сингонія – ромбічна.  $R = 56 \%$ . Колір у відбитому світлі жовтий. Твердість низька (2). Сильно анізотропний. Двовідбиття слабке.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипає;
- 2)  $\text{FeCl}_3$  і  $\text{KOH}$  – позитивні;
- 3)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$  – негативні.

Дуже схожий з калаверитом; останній жовтіше, і ефект анізотропії слабкіший.

## 63. Кубаніт (чальмерзит)

Хімічна формула  $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна.  $R = 40 \%$ ; двовідбиття слабке. Колір у відбитому світлі блідо-кремовий. Твердість середня (4...5). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}$  – забарвлюється у світло-коричневий колір або негативна;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Незмінно проростає халькопіритом і зазвичай асоціює з піротином. Колір майже однаковий з піротином, дещо жовтіше. Слабо магнітний, але менш, ніж піротин. Поряд з халькопіритом кубаніт рельєфу не має; в порівнянні з піротином і халькопіритом – твердіше, рельєфно виступає.

#### **64. Куприт**

Хімічна формула  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Поширений. Сингонія – кубічна. Форма зерен неправильна, жилки, облямівки заміщення.  $R = 29 \%$ . Колір у відбитому світлі порівняно з галенітом блакитнувато-сіро-білий. Твердість середня (3...4). У косому світлі червоний. Порошок червоний. Полірується добре. Ізотропний, часто аномально слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипає, з'являється осад металевої міді, від парів тьмяніє;
- 2)  $\text{HCl}$  – стає бурим, темним, білий наліт (у косому світлі);
- 3)  $\text{KCN}$  – темніє, виявляється структура;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – тьмяніє, іризує;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  і  $\text{KOH}$  – негативні.

#### **65. Лелінгіт**

Хімічна формула  $\text{FeAs}_2$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна.  $R = 56 \%$ . Колір у відбитому світлі білий (порівняно з арсенопіритом лелінгіт більш сірий). Твердість висока (6...6,5). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – забарвлюється в коричневий веселковий колір, пари дають потьмарення;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

#### **66. Лепідокрокіт**

Хімічна формула  $\text{FeO} \cdot \text{OH}$ . Поширений. Сингонія – ромбічна. Диморфна форма гетиту. Лускатий. Спайність по (010) досконала.  $R = 20 \%$ . Двовідбиття слабе. Колір у відбитому світлі сірувато-білий, але дещо темніше, ніж у гетиту. Внутрішні рефлекси сильні – червоні або помаранчево-червоні. Порошок помаранчево-червоний. Твердість вища за середню (5). Явище анізотропії помітне слабо внаслідок напівпрозорої мінералу.

Звичайні засоби травлення не діють.

#### **67. Лимоніт (гідрогетит)**

Хімічна формула  $\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Дуже поширений.  $R = 17 \%$ . Колір у відбитому світлі сірий із слабким блакитним відтінком у присутності гематиту і магнетиту. Твердість висока (5...6,5), не дряпається голкою. Охристі різниці м'які. Порошок жовто-бурий. У косому світлі бурий. Анізотропний. Натічний, аморфний. Завжди вторинний. Трапляється у вигляді жилок, облямівок, псевдоморфозу або коломорфних скупчень.

Усі звичайні реактиви не діють.

#### **68. Лінеїт**

Хімічна формула  $\text{Co}_3\text{S}_4$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 46 \%$ . Колір у відбитому світлі рожево-білий. Твердість вища за середню (4...4,5), але сталевую голкою дряпається. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – пари дають слабке потьмарення;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  – негативні;
- 3)  $\text{HgCl}_2$  – неоднорідно забарвлюється в коричневий колір; деякі ділянки майже не змінюються.

### **69. Люцоніт**

Хімічна формула  $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$ . Рідкісний. Сингонія – моноклінна.  $R = 25\%$ ; слабке двовідбиття. Колір у відбитому світлі помаранчево-червоний. Твердість середня (3...3,5). Сильна анізотропія, добре помітна завдяки двійниковій будові.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – дуже повільно дає наліт, що стирається;
- 2)  $\text{KCN}$  – повільно дає наліт;
- 3)  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  – негативні.

Від дуже схожого енаргіту відрізняється сингонією, двійниковою будовою і слабкішим до травлення розчином  $\text{KCN}$ .

### **70. Магеміт**

Хімічна формула  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R$  близько 23%. Трапляється спільно з магнетитом і утворюється в результаті його зміни. Під мікроскопом світліше за магнетит. Колір у відбитому світлі сірий з блакитнуватим відтінком. Твердість висока (5). Внутрішні рефлекси бурочервоного кольору спостерігаються рідко. Порошок і риса бурі. Ізотропний. Звичайні засоби травлення не діють. Магнітний. Від дуже схожого магнетиту відрізняється бурою рисою (порошку) і блакитнуватим відтінком (добре помітним з масляною імерсією). В порівнянні з гематитом має біль сірий колір, менш твердий і магнітний.

### **71. Магнетит**

Хімічна формула  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Дуже поширений. Сингонія – кубічна. Форма зерен зазвичай евгедральна, іноді пластинчата (мушкетовіт), така, що утворюється в результаті заміщення магнетитом гематиту зі збереженням його форми.  $R = 20\%$ . Колір у відбитому світлі сірий; з масляною імерсією – слабкий червонястий відтінок. Ізотропний. Твердість висока (6...7). Сильно магнітний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HCl}$  – краплі на гладкій поверхні розтікаються, пари дають потьмарення; розчин жовтіє, нерідко витравлюється зональна структура;
- 2)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;
- 3) розчин царської горілки жовтіє.

При дряпанні утворюється чорний порошок. Порошок магнітний. Голка, проведена по гладкій поверхні, часто залишає виразний слід, але це не істинна подряпина, оскільки краї подряпини не зламані.

## 72. Малахіт

Хімічна формула  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ . Дуже поширений. Сингонія – моноклінна. Спайність досконала за (001). Форма часто коломорфна (натічна) у вигляді радіальних стягнень і неправильних аморфних скупчень.  $R = 9 \dots 6 \%$ . Двовідбиття сильне. Колір у відбитому світлі сірий з рожевуватим відтінком. У косому світлі зелений. Твердість середня (3...3,5). Порошок ясно-зелений. Полірується добре. Явищу поляризації в схрещених ніколях заважають внутрішні рефлекси.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – інтенсивне закипання, поверхня сильно роз'їдається від розчинення і виявляється структура;
- 2)  $\text{HCl}$  дає той же ефект, що і  $\text{HNO}_3$ ;
- 3)  $\text{KCN}$  – слабо виявляється структура;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – повільне закипання, мінерал придбає в косому світлі жовтий наліт;
- 5)  $\text{KOH}$  – через 15...20 хвилин утворюється блакитний осад;
- 6) у парах  $\text{NH}_4\text{OH}$  після 10...15 хв. мінерал синіє;
- 7)  $\text{HgCl}_2$  – негативна.

## 73. Манганіт

Хімічна формула  $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна. Форма призматична.  $R = 18 \dots 16 \%$ . Двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі сірий. Твердість вища за середню (4...4,5). Дає коричневий порошок. Внутрішні рефлекси криваво-червоні. Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HCl}$  – пари дають потьмарення;
- 2)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;
- 3)  $\text{H}_2\text{O}_2$  – повільно закипає, не забарвлюючи поверхні.

## 74. Марказит

Хімічна формула  $\text{FeS}_2$ . Поширений. Сингонія – ромбічна. Форма призматична радіально-промениста або коломорфна.  $R = 55 \%$ . Двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі блідо-жовтий. Твердість висока (6,5...7,5). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – забарвлюється в коричневий, веселковий колір – з повільним закипанням, закипання іноді не спостерігається;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Марказит кольором трохи блідіше, ніж пірит. Єдиним правильним способом для розрізнення марказиту від піриту є спостереження в поляризованому світлі.

### **75. Маухерит**

Хімічна формула  $Ni_3As_2$ . Дуже рідкісний. Сингонія – тетрагональна. Трапляється у вигляді жилок, петель і решіток в інших нікельвмісних мінералах.  $R = 60\%$ . Колір у відбитому світлі світло-рожево-жовтий (схожий з кобальтином). Твердість середня (3...3,5). Ізотропний або дуже слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$  – миттєво закипає і забарвлюється в чорний колір;
- 2)  $FeCl_3$  – швидко дає веселкове потьмарення;
- 3)  $HgCl_2$  – трохи буріє;
- 4)  $HCl$ ,  $KCN$ ,  $KOH$  – негативні.

### **76. Мідь самородна**

Хімічна формула  $Cu$ . Поширена. Сингонія кубічна.  $R = 90\%$ . Колір у відбитому світлі мідно-червоний, швидко тьмяніє на повітрі. Твердість низька (2); добре ріжеться. Ізотропна. Сильний блиск внаслідок дуже високого відображення.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$  – закипає; деякі різновиди, тьмяніючи, забарвлюються в коричневий колір, інші скипають без потьмарення;
- 2)  $HCl$  – негативна; деякі різновиди, повільно тьмяніючи, набули коричневого кольору;
- 3)  $KCN$  – повільне побуріння;
- 4)  $FeCl_3$  – швидке потемніння;
- 5)  $KOH$  – швидке потьмарення, і фарбування в коричневі веселкові кольори;
- 6)  $HgCl_2$  – швидке почорніння.

### **77. Мельниковіт**

Хімічна формула  $FeS_2$ . Рідкісний. Мельниковітом називаються чорні, землисті (рихлі і щільні) різновиди двосірчастого заліза; приховано-кристалічні різниці мають структуру марказиту і піриту.

Мельниковіт трапляється як в осадових породах у вигляді щільних мас і ниркоподібних, сферичних і гіллястих форм, так і в колчеданних рудах у вигляді скупчень саж і округлих бруньок.

Під мікроскопом у відбитому світлі має низький показник відображення, коричневий колір і має здатність давати металевий блиск після «поліровки» (згладжування) голкою. Твердість низька (2...3). Магнітний (?). Ізотропний.

Легко травиться  $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $KCN$ .

### **78. Менегиніт**

Хімічна формула  $4\text{PbS}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Дуже рідкісний. Сингонія – ромбічна. Трапляється у вигляді голчастих кристалів і у вигляді волокнистих, променистих або щільних агрегатів.  $R = 40\%$ . Двовідбиття помітно на межах зерен. Колір у відбитому світлі білий, поряд з галенітом – трохи блакитнуватий. Твердість низька і до середньої (2...3). Явище анізотропії в поперечних і косих розрізах виражене сильно, в подовжніх слабкіше. З масляною імерсією помітні червоні внутрішні рефлекси.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипає, чорніє;
- 2)  $\text{HCl}$  дає потьмарення;
- 3)  $\text{KOH}$  – трохи забарвлюється в синюватий або червонястий колір, іноді реакція сумнівна;
- 4)  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### **79. Метацинабарит**

Хімічна формула  $\text{HgS}$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 24\%$ . Колір у відбитому світлі сіро-білий. Твердість низька (2). Внутрішніх рефлексів не має; риса чорна. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) царська горілка – закипає і чорніє;
- 2)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Майже незмінно проростає кіновар'ю. На відміну від неї не має червоних рефлексів і часто містить численні двійники.

### **80. Мілерит**

Хімічна формула  $\text{NiS}$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна. Зазвичай волокнистий. Характерна голчаста форма кристалів.  $R = 56\%$ . Двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі латунно-жовтий, проміжний між піритом і халькопіритом. Твердість середня (3...3,5). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно забарвлюється в коричневий колір; пари дають потьмарення;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  – негативні;
- 3)  $\text{HgCl}_2$  – повільно забарвлюється в коричневий колір.

### **81. Молібденіт**

Хімічна формула  $\text{MoS}_2$ . Поширений. Сингонія – гексагональна. Досконала спайність по пінакоїду.  $R = 35\text{...}15\%$ . Колір у відбитому світлі галенітово-білий до сірувато-білого. Твердість низька (2). При одному ніколі спостерігається різко виражене двовідбиття; при схрещених ніколях – сильна анізотропія.

Перерізи по пінакоїду ізотропні. Призматичні перерізи мінералу мають майже паралельне згасання. Характерні двійники, іноді деформовані.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  – негативні;
- 2) царська горілка – повільно закипає, деякі ділянки не змінюються.

### **82. Миш'як**

Хімічна формула  $\text{As}$  (самородний). Рідкісний. Сингонія – гексагональна. Добра спайність по пінакоїду. Колір у відбитому світлі білий.  $R = 58\%$ . Двовідбиття низьке. Сильно анізотропний. Твердість низька до середньої.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно закипає; поверхня забарвлюється у веселковий колір;
- 2)  $\text{KOH}$ ,  $\text{HCl}$  і  $\text{KCN}$  – негативні;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – швидко забарвлюється у веселковий чорний колір;
- 4)  $\text{HgCl}_2$  – повільно забарвлюється у світло-коричневий колір, деякі ділянки майже негативні.

На повітрі швидко тьмяніє від окислення.

### **83. Нікелін**

Хімічна формула  $\text{NiAs}$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна.  $R = 56\text{--}53\%$ . Двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі мідно-рожевий. Твердість середня (3,5...3,54). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – неоднорідне потьмарення із закипанням;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$  і  $\text{KOH}$  – негативні;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – повільно забарвлюється в коричнево-веселковий колір;
- 4)  $\text{HgCl}_2$  – забарвлюється в коричнево-веселковий колір;
- 5)  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$  – виявляється структура.

### **84. Олівін**

Хімічна формула  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ . Поширений.  $R = 8\%$ . Колір у відбитому світлі темно-сірий. Твердість висока (6,5...7). Полірується добре. Явище анізотропії у схрещених ніколях непомітне. Безбарвні або блідо-зелені внутрішні рефлекси.

Діагностичне травлення не вивчене. Діє концентрована  $\text{HCl}$ .

### **85. Осмістий іридій**

Хімічна формула  $\text{OsIr}$ . Рідкісний. Сингонія – тригональна,  $R = 68\%$ . Колір у відбитому світлі білий, порівняно з платиною трохи жовтуватий. Твердість висока (6...7). У схрещених ніколях слабо анізотропний. Усі звичайні реактиви не діють.



### 86. Пентландит

Хімічна формула  $(\text{Ni,Fe})\text{S}$ . Поширений. Сингонія – кубічна.  $R = 53 \%$ . Колір у відбитому світлі має блідий кремовий колір, помітно світліше і жовтіше за піротин. Твердість середня (3...3,5). Ізотропний. Недосконала кубічна спайність. Немагнітний. Майже незмінно асоціює з піротином і халькопіритом.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – пари дають потьмарення; мінерал повільно забарвлюється в коричневий колір;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 87. Петцит

Хімічна формула  $(\text{Ag, Au})_2\text{Te}$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна (?). Спостерігається в щільних або зернистих агрегатах.  $R = 39 \%$ . Колір у відбитому світлі сіро-білий. Твердість низька (1...1,5). Ізотропний або слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипає, темніє;
- 2)  $\text{FeCl}_3$  – іризує;
- 3)  $\text{HgCl}_2$  – повільно забарвлюється в коричневий колір;
- 4)  $\text{KCN}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KOH}$  – негативні.

З вольтовою дугою – світлове травлення. Зазвичай проростає геситом.

Петцит біліше його, має більш гладку поверхню; містить трикутнички викрашування по спайності.

### 88. Піраргірит

Хімічна формула  $3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна.  $R = 32 \%$ . Двовідбиття слабке. Колір у відбитому світлі порівняно з галенітом світло-блакитнувато-сірий. Твердість низька. Порошок і внутрішні рефлексії рубіново-червоні. Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – пари на деяких ділянках дають легке потьмарення, на інших – негативні;
- 2)  $\text{HCl}$  – негативна;
- 3)  $\text{KCN}$  – забарвлюється неоднорідний в сірий, коричневий кольори;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – негативно; на деяких ділянках, певно, дає легкі потьмарення;
- 6)  $\text{KOH}$  – миттєво дає веселкове потьмарення;
- 7)  $\text{HgCl}_2$  – забарвлюється в коричневий колір.

Світлове травлення з вольтовою дугою.

### 89. Пірит

Хімічна формула  $\text{FeS}_2$ . Дуже поширений. Сингонія – кубічна. Форма перерізів зерен в полірованих шліфах квадратна, прямокутна, многокутна,

невірні і округлі. Поширені складні, петельно-зональні коломорфні утворення, як окремий випадок призматичні або волокнисто-шестоваті різновиди.  $R = 53\%$ . Колір у відбитому світлі блідо-жовтий. Твердість висока (6,5...7,5). Іноді важко полірується: навколо зерен звичайні тіньові облямівки. Більшість зразків піриту ізотропна; зрідка аномально слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1)  $\text{HNO}_3$  – пари дають потьмарення; деякі зразки повільно закипають; при дрібнозернистій будові або поганій поліровці поверхні реакція може бути негативною;

2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$   $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;

3) пари царської горілки – дають потьмарення, деякі зразки повільно закипають;

4) при електролітичному травленні розчином  $\text{NH}_4\text{OH}$  або травленні розчином  $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$  часто виявляється внутрішня зональна структура.

Пірит є найпоширенішим мінералом в сульфідних рудах. Правильні кристалографічні форми зерен і постійно спостережуване заміщення його іншими сульфідами (халькопіритом, сфалеритом, галенітом) дозволяють вважати пірит одним з ранніх мінералів сульфідних руд. Іноді спостерігається в рудах декілька генерацій піриту, і тоді вікові взаємовідносини мінералів встановлюються важко. Часто пірит містить найдрібніші «пойкилітоподібні» включення халькопіриту, сфалериту, бляклої руди, а зрідка і золото. Іноді пірит вміщує кобальт. Нерідко буває тріщинуватим і роздробленим.

## 90. Піроксен

Хімічна формула  $n\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}) * \text{Si}_2\text{O}_6 * m(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ . Поширений.  $R$  менше  $10\%$ . Колір у відбитому світлі темно-сірий. Твердість висока (6...7); Явище анізотропії не спостерігається. Сильні внутрішні рефлекси, помітні в повітрі. Звичайні засоби травлення не діють.

## 91. Піролюзит

Хімічна формула  $\text{MnO}_2$ . Поширений. Сингонія – ромбічна. Призматичний; досконала спайність по призмі; зазвичай аморфний. Часто коломорфний. Деякі зразки бруднять пальці.  $R = 33\%$ ; анізотропія і двовідбиття ясно виражені у кристалічних різниць. Колір у відбитому світлі сірувато-білий з характерним жовтим (тілесним) відтінком. Твердість низька або середня (2...3,5); дає чорний порошок.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{HgCl}_2$  – негативні;

2)  $\text{HCl}$  – крапля стає коричневою, але поверхня не забарвлюється;

3) царська горілка – те саме, що і  $\text{HCl}$ ;

4)  $\text{H}_2\text{O}_2$  – крапля сильно закипає, але поверхня не забарвлюється;

5)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$  – поверхня неоднорідного забарвлюється в чорний колір.

## 92. Піроморфіт

Хімічна формула  $Pb_5Cl(PO_4)_3$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна. Спайність дуже неясна. Форма виділень у вигляді подовжених призм або неправильних скупчень і жилок. R менше 10 %. Твердість середня (3...4). Колір у відбитому світлі сірий, дещо світліше за кальцит. У косому світлі зелений, жовтуватий, водяно-прозорий, до бурого. Порошок білий. Колір внутрішніх рефлексів затемнює явище поляризації в схрещених ніколях.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$  – стає шорстким від розчинення;
- 2)  $HCl$  – дає той же ефект;
- 3)  $KOH$  – виявляється структура;
- 4)  $FeCl_3$ ,  $HgCl_2$ ,  $KCN$  – негативні.

## 93. Піротин

Хімічна формула  $Fe_nSn_{n+1}$ . Поширений. Сингонія – гексагональна. R = 38 %. Двовідбиття ясно помітне. Колір у відбитому світлі кремовий. Твердість середня (3...3,5). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$  – повільно забарвлюється у світло-коричневий колір, пари дають потьмарення;
- 2)  $HCl$  – розчин іноді жовтіє, але мінерал не змінюється;
- 3)  $KCN$  і  $FeCl_3$  – негативні;
- 4)  $KOH$  – дає потьмарення веселкових кольорів;
- 5)  $HgCl_2$  – негативна.

Виразно магнітний. Піротин є нестійким сульфідом: він розкладається і переходить або у вторинний пірит, що відрізняється пористою будовою, або, частіше, в марказит.

## 94. Платина

Хімічна формула Pt. Рідкісний. Сингонія – кубічна. R = 70 %. Колір у відбитому світлі білий. Твердість середня (3...3,5) Полірується добре. Форма зерен ізометрична або неправильна. Іноді магнітна. Ізотропна. Сильний блиск внаслідок дуже високого показника відображення.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $KCN$ ,  $FeCl_3$ ,  $KOH$  – негативні;
- 2) царська горілка – повільно виявляється структура;
- 3) під дією концентрованої  $CrO_3 + HCl$  виявляється структура;

Платина, що містить Fe і Pd, травиться легше ніж з домішкою ірідію. Мідиста платина травиться розбавленою царською горілкою.

## 95. Польовий шпат

Дуже поширений. Сингонія – моноклінна і триклінна. R менше 10 %. У відбитому світлі темно-сірий колір. Висока твердість. Явище анізотропії не

спостерігається. Двійники, типові для плагіоклазів, у відбитому світлі непомітні.

Діагностичне травлення вивчено мало. Основні плагіоклази травляться розчинами HF і HCl.

### **96. Полібазит**

Хімічна формула  $8Ag_2S \cdot Sb_2S_3$ . Рідкісний. Сингонія – моноклінна. R = 29 %. Колір у відбитому світлі сірувато-білий, порівняно з галенітом трохи зеленуватий. Твердість нижча за середню (2...3). Слабо анізотропний. Порошок темний рубіново-червоний; якщо частки його великі, то здається чорним. Внутрішні рефлекси червоні; не завжди помітні.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1) HNO<sub>3</sub> – пари дають потьмарення;

2) HCl – негативна;

3) KCN – швидко чорніє;

4) FeCl<sub>3</sub> – дає веселкове потьмарення;

5) KOH – дає повільне веселкове потьмарення; на деяких зразках негативна;

6) HgCl<sub>2</sub> – швидко чорніє.

Світлове травлення з вольтовою дугою.

### **97. Полідиміт**

Хімічна формула Ni<sub>3</sub>S<sub>4</sub>. Рідкісний. Сингонія – кубічна. Трапляється в суцільних зернистих масах і кристалах. Характерні двійники. R = 45 %. Колір у відбитому світлі латунно-жовтий (білий з кремовим або червонястим відтінком). Твердість висока (6...7). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1) HNO<sub>3</sub> – повільне закипання і фарбування у веселковий колір;

2) HCl – крапля зеленіє;

3) KOH, FeCl<sub>3</sub>, HgCl<sub>2</sub>, KCN – негативні.

### **98. Прустит**

Хімічна формула  $3Ag_2S \cdot As_2S_3$ . Рідкісний. Сингонія – гексагональна. R = 27 %. Двівідбиття ясно помітне. Колір блакитнувато-білий (порівняно з галенітом). Твердість низька (1,5...2). У відбитому світлі колір порошку і внутрішні рефлекси рубіново-червоні. Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1) HNO<sub>3</sub> – пари дають потьмарення;

2) HCl – негативна;

3) KCN – швидко забарвлюється в чорний колір;

4) FeCl<sub>3</sub> – тьмяніє;

- 5) KOH – забарвлюється в чорний колір;
- 6) HgCl<sub>2</sub> – забарвлюється в чорний колір.

Не відрізняється від піраргіриту за кольором і за випробуванням травленням. Потрібно мікрохімічне випробування на миш'як. Світлове травлення з вольтовою дугою.

### 99. Псиломелан-вад

Хімічна формула  $n\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ . Поширений. Мінерал змінного складу і різної будови – від кристалічного псиломелану до сажі вада. Часто трапляється коломорфна текстура. Показник відображення псиломелану  $R = 30 \dots 20 \%$ , а вада 10 %. Колір у відбитому світлі сірувато-білий до сірого. Твердість від високої до низької. Псиломелан ізотропний або анізотропний, а вад ізотропний. Бурі внутрішні рефлекси насилу спостерігаються з масляною імерсією. Масивні гронаподібні або брунькоподібні структури. Поліровані поверхні зазвичай мають концентричну смугастість.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – іноді забарвлюється у світло-коричневий колір; пари дають потьмарення;
- 2) HCl – фарбується в коричневий та чорний кольори; дія інтенсивніша, ніж від HNO<sub>3</sub>;
- 3) KCN, FeCl<sub>3</sub>, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні;
- 4) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – сильно закипає.

### 100. Реальгар

Хімічна формула AsS. Рідкісний. Сингонія – моноклінна.  $R = 20 \%$ . Колір у відбитому світлі сірувато-білий. Твердість низька (2). Ясно анізотропний; мінерал прозорий, і велика частина світла, що падає на нього, поглинається. У косому світлі червоно-помаранчеві рефлекси.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub>, HCl, KCN, FeCl<sub>3</sub> – негативні;
- 2) KOH – миттєво забарвлюється в чорний колір;
- 3) HgCl<sub>2</sub> – негативна;
- 4) царська горілка – закипає, буріє.

### 101. Родохрозит

Хімічна формула MnCO<sub>3</sub>. Поширений.  $R$  менше 10 %. Колір у відбитому світлі сірий. Твердість середня (3...4). Порошок білий. У косому світлі рожеві або бурі рефлекси. Ясно анізотропний. Травиться кислотами.

Окрім родохрозиту, досить звичайні в родовищах марганцю манганокальцит (Ca,Mn)CO<sub>3</sub> і олігоніт (Mn,Fe)CO<sub>3</sub>. Властивості їх під мікроскопом у відбитому світлі близькі з родохрозитом.

### 102. Рутил

Хімічна формула  $TiO_2$  Поширений. Сингонія – тетрагональна. Форма зерен евгедральна, призматична. Часті колінчасті двійники. Порошок безбарвний.  $R = 20 \%$ . Колір у відбитому світлі сіро-білий, світліший ніж у каситериту і сфалериту. Твердість висока (7...8). Полірується добре. У косому світлі помаранчевий або червоний. У поляризованому світлі жовті, бурі або червоні внутрішні рефлекси, що затемнюють явище анізотропії. Травлення – усі реактиви не діють.

### 103. Сафлорит-рамельсбергит

Хімічна формула  $CoAs_2-NiAs_2$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна.  $R = 57 \%$ . Двовідбиття низьке. Колір у відбитому світлі білий. Твердість вища за середню (4...5). Явище анізотропії при схрещених ніколях виражене дуже добре.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$  – закипає, забарвлюється в темний колір і виявляється структура;
- 2)  $HCl$  і  $KCN$  – негативні;
- 3)  $FeCl_3$  – забарвлюється в коричневий колір;
- 4)  $KOH$  – негативна;
- 5)  $HgCl_2$  – негативна, іноді повільно забарвлюється в коричневий колір.

Концентрована  $HNO_3$  впродовж 3...15 сек. виявляє двійники або зональну будову.

### 104. Сірка

Хімічна формула  $S$ . Звичайна. Сингонія – ромбічна.  $R = 15...10 \%$ . Колір у відбитому світлі сірий. Твердість низька. Помітно анізотропний. Двовідбиття сильне. Внутрішні рефлекси жовті або безбарвні. Трапляється в зоні окислення сульфідних родовищ, у висипках колчеданних руд і в осадових родовищах.

### 105. Срібло

Хімічна формула  $Ag$ . Рідкісне. Кубічна.  $R = 95 \%$ . Колір у відбитому світлі порівняно з галенітом кремово-білий. Сильний блиск, оскільки показник відображення дуже високий. Твердість низька (1,5...2); добре ріжеться. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$  – закипає і забарвлюється в сірий колір;
- 2)  $HCl$  в парах тьмяніє; ореол не змивається;
- 3)  $KCN$  – деякі зразки тьмяніють в сіро-коричневий колір, інші негативні;
- 4)  $FeCl_3$  – миттєво забарвлюється у веселкові кольори, на повітрі швидко тьмяніє.

### 106. Сидерит

Хімічна формула  $FeCO_3$ . Поширений. Сингонія – тригональна.  $R = 9...6 \%$ . Двовідбиття сильне. Колір у відбитому світлі сірий, дещо світліше за кварц і

кальцит, але темніше за сфалерит і лимоніт. У косому світлі прозоро-білий, жовтий або червоний від оксидів Fe. Порошок білий. Полірується добре. Твердість середня (3...4). У схрещених ніколях змінюється від світло-сірих до темно-сірих тонів з виявленням зернистості.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) від розчинення при дії  $\text{HNO}_3$  формується шорстка поверхня і виявляються окремі по-різному протравленні зерна, виявляється спайність;
- 2)  $\text{HCl}$  – дає загалом той самий ефект, що і  $\text{HNO}_3$ , але викликає іноді, перед висиханням краплі, закипання;
- 3)  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  – слабо виступає структура;
- 4)  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KCN}$  – негативні, іноді лише слабо виступає структура.

Чистий сидерит в природі трапляється рідко; зазвичай в ньому містяться ізоморфні домішки. Розрізняють: брейнерит  $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$  до 30 %  $\text{FeCO}_3$ ; мезитит  $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$  – 30...50 %  $\text{FeCO}_3$ ; пистомезит  $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$  – 50...70 %  $\text{FeCO}_3$ ; сидероплезит  $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$  – 70...95 %  $\text{FeCO}_3$ .

### 107. Сильваніт

Хімічна формула  $(\text{Ag}, \text{Au})\text{Te}_2$ . Дуже рідкісний. Сингонія – моноклінна. Трапляється у вигляді поодиноких кристалів і дендриту. Характерні двійники.  $R = 47\%$ . Двovidбиття сильне. Колір у відбитому світлі кремово-білий. Твердість низька (1,5...2). Сильно анізотропний; при схрещених ніколях кольори міняються від коричневого до рожево-білого.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно закипає, поверхня забарвлюється у веселковий колір;
- 2) царська горілка – закипає;
- 3)  $\text{KCN}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 108. Скородит

Хімічна формула  $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Рідкісний. Ромбічна. Трапляється в зоні окислення у вигляді кірочок або дрібних кристалів. Часто коломорфний.  $R = 8-7\%$ . Двovidбиття слабке. Колір у відбитому світлі сірий, світліше за нерудні мінерали. Твердість середня (3,5...4). У косому світлі ясно-зелений або бурожовтий; внутрішні рефлекси затемнюють явище анізотропії.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – стає трохи пористим від слабкого розчинення;
- 2)  $\text{HCl}$  – формується пористість від розчинення і проявляється структура;
- 3)  $\text{KOH}$  – наліт окислу заліза внаслідок розкладання;
- 4)  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 109. Скутерудит

Хімічна формула  $\text{CoAs}_3$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 60\%$ . Колір у відбитому світлі білий з кремевим відтінком. Твердість висока (6...7).

Ізотропний. Спостерігається у вигляді кубічних, схожих на пірит кристалів. Іноді кристали мають зональну будову.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – травлення дуже повільне або негативне;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

### 110. Слюди

Хімічні формули: біотиту –  $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ , мусковіту –  $\text{KA}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ , флогопіту –  $\text{KMg}_3(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ . Дуже поширені. Сингонія – моноклінна. R – менше 10 %. Колір у відбитому світлі темно-сірий, темніше за кварц. Твердість низька (2). Полірується недостатньо добре. Помітна спайність. З масляною імерсією світлі (перламутрові) рефлекси. Явище анізотропії непомітне. Травлення не вивчено. Багаті залізом слюди хімічно не стійки.

### 111. Смітсоніт

Хімічна формула  $\text{ZnCO}_3$ . Поширений. Сингонія – тригональна. R = 9...3 %. Двовідбиття високе. Колір у відбитому світлі сірий, але дещо світліше за кальцит і інші нерудні мінерали. Полірується добре. Твердість середня або вище за середню; дряпається сталевною голкою важко. У схрещених ніколях колір полірованої поверхні змінюється від світло-сірих до темно-сірих тонів, з виявленням дрібних полігональних зерен. У косому світлі водяно-прозорий, каламутний, іноді із слабкими відтінками бурого, синюватого, зеленуватого кольорів. Порошок безбарвний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – мінерал розчиняється з повільним закипанням, причому виявляється структура дрібних полігональних зерен або коломорфного вигляду;
- 2)  $\text{HCl}$  – той же ефект, що і при  $\text{HNO}_3$ ;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – поверхня стає шорсткою;
- 4)  $\text{KCN}$  і  $\text{KOH}$  – виявляється структура;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  – негативна.

### 112. Спериліт

Хімічна формула  $\text{PtAs}_2$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна. R = 56 %. Колір у відбитому світлі білий. Твердість висока (6...7). Ізотропний. Трапляється у вигляді невеликих ізометричних кристалів.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;
- 2) царська горілка – трохи закипає і місцями забарвлюється у світло-коричневий колір.



### 113. Станін

Хімічна формула  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ . Поширений. Сингонія – тетрагон.  $R = 24\%$ . Двовідбиття слабке. Колір у відбитому світлі світло-коричневато-сірий, в порівнянні з галенітом зеленуватий відтінок. Твердість середня (3...4). Деякі різниці слабо анізотропні; інші сильно анізотропні.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – забарвлюється у веселковий колір, пари дають потьмарення;
- 2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

Зазвичай асоціює з халькопіритом.

### 114. Стефаніт

Хімічна формула  $5\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна. Трапляється в кристалах і суцільних масах.  $R = 28\%$ . Двовідбиття слабке на повітрі, але ясніше в імерсійній олії. Колір у відбитому світлі сірувато-білий. Твердість низька (2). Сильно анізотропний. Внутрішні рефлекси відсутні.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HCl}$  – пари дають потьмарення;
- 2)  $\text{KCN}$  – забарвлюється в темно-сірий колір і виявляються подряпини;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – дає потьмарення;
- 4)  $\text{KOH}$  – швидко забарвлюється в чорний колір;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  – забарвлюється у веселковий колір;
- 6)  $\text{HNO}_3$  – негативна.

З вольовою дугою – світлове травлення.

### 115. Стибніт (антимоніт)

Хімічна формула  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Поширений. Сингонія – ромбічна. Форма призматична.  $R = 43...30\%$ . Двовідбиття дуже сильне. Колір у відбитому світлі білий. Твердість низька (2). Сильно анізотропний. З масляною імерсією іноді вдається помітити червоні внутрішні рефлекси. Твердість і колір мінералу іноді змінюються разом з орієнтуванням.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – забарвлюється в різні веселкові кольори;
- 2)  $\text{HCl}$  – пари іноді дають легке потьмарення, зазвичай реакція негативна;
- 3)  $\text{KCN}$  – виявляються подряпини;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – реакції відсутні;
- 5)  $\text{KOH}$  – миттєво робить коричневе потьмарення і дає жовтий наліт (це найбільш характерна для стибніту реакція);
- 6)  $\text{HgCl}_2$  – реакції відсутні.

### 116. Сурма

Хімічна формула  $\text{Sb}$ . Дуже рідкісна. Сингонія – гексагональна.  $R = 68\%$ . Колір у відбитому світлі білий. Твердість низька (2). Слабо анізотропна. Спайність по ромбоєдру, містить трикутні ямки.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) KCN – забарвлюється у світло-коричневий колір;
- 2) FeCl<sub>3</sub> – забарвлюється в чорний колір;
- 3) HgCl<sub>2</sub> – іризує;
- 4) HCl – реакції відсутні, іноді потьмарення від парів;
- 5) KOH – реакції відсутні;
- 6) HNO<sub>3</sub> – швидко чорніє.

### **117. Сфалерит**

Хімічна формула (Zn,Fe)S. Дуже поширений. Сингонія – кубічна. Трапляється в зернистих агрегатах, рідше у вигляді добре освічених кристалів. Іноді разом з піритом або самостійно утворює коломорфні текстури. R = 17 %. Колір у відбитому світлі сірий. Твердість середня (4). Ізотропний. Багато зразків мають внутрішні рефлекси жовтого, бурого і червоно-бурого забарвлення. Деякі містять трикутні ямки. Порошок від білого до коричневого кольору. Якщо пропорція заліза значна, то порошок може бути з металевим блиском.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – пари дають потьмарення;
- 2) HCl, KCN, FeCl<sub>3</sub>, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні;
- 3) царська горілка – закипає і забарвлюється в темно-коричневий колір; пари дають потьмарення, виявляється внутрішня структура (двійники і спайність).

Крім того, внутрішня структура добре виявляється травленням розчином KMnO<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> впродовж 10...20 сек.

Сфалерит часто містить дрібні емульсіє-подібні включення халькопіриту і рідше за піротину або станину. Є головним складовим мінералом сульфідних поліметалевих (Pb, Zn, Ag) руд.

Зазвичай містить домішки рідкісних елементів: кадмію, германію, індію і галію. У супергенних умовах сфалерит дуже легко заміщається ковеліном, який розвивається в ньому у вигляді жилочок, петель і неправильних виділень.

### **118. Тенантит**

Хімічна формула 3Cu<sub>2</sub>S\*As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Поширений. Сингонія – кубічна. R = 29 %. Колір у відбитому світлі сіро-білий; у контакті з галенітом тенантит має виразний зеленуватий відтінок. Твердість середня (3...4). Деякі зразки дають червонувато-коричневий порошок, інші – чорний металевий порошок. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – пари дають потьмарення;
- 2) HCl – реакції відсутні;

- 3) KCN – зазвичай негативна, іноді забарвлюється у світло-коричневий колір і на деяких зразках виявляє подряпини;
- 4) FeCl<sub>3</sub>, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні;
- 5) царська горілка – тьмяніє, іризує;
- 6) K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> темніє (на відміну від тетраедриту).

### 119. Тенорит

Хімічна формула CuO. Рідкісний. Сингонія – моноклінна або триклінна. Форма зерен неправильна, часто коломорфний. R = 20 %; двовідбиття слабке. Колір у відбитому світлі сіро-білий з коричневим відтінком. Твердість середня (3...4). Полірується добре. Порошок чорний. Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – від парів тьмяніє, буріє;
- 2) HCl – тьмяніє, буріє неоднорідно; від парів тьмяніє, крапля кислоти стає зеленою;
- 3) KCN, HgCl<sub>2</sub> і KOH – не діють;
- 4) FeCl<sub>3</sub> – іноді слабо буріє;
- 5) царська горілка – така сама дія, як і від HCl.

### 120. Тетрадиміт

Хімічна формула Bi<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>S. Рідкісний. Сингонія – гексагональна. Трапляється в суцільних листуватих масах і таблитчастих або ромбічних кристалах. R = 48 %. Колір у відбитому світлі білий з кремовим відтінком. Твердість низька (2). Слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – закипає, забарвлюється в коричневий колір;
- 2) HCl – повільно забарвлюється у світло-коричневий колір, деякі ділянки не труються;
- 3) FeCl<sub>3</sub> – стає веселковим;
- 4) KCN, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні.

### 121. Тетраедрит

Хімічна формула 3Cu<sub>2</sub>S\*Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Поширений. Сингонія – кубічна. R = 29 %. Колір у відбитому світлі сірувато-білий. Твердість середня (3...4). Одні зразки дають червонувато-коричневий порошок, інші – чорний металевий порошок. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1) HNO<sub>3</sub> – пари зазвичай дають потьмарення; деякі зразки веселково тьмяніють при дії реактиву більше за одну хвилину;
- 2) HCl, KCN, FeCl<sub>3</sub>, KOH, HgCl<sub>2</sub> – негативні;
- 3) з царською горілкою слабо закипає;

4) КОН (насичений розчин) +  $\text{KMnO}_4$  (насичений розчин) +  $\text{H}_2\text{O}$  (30 %) – виявляється структура (на відміну від тенантиту).

### 122. Титаніт

Хімічна формула  $\text{CaTiSiO}_5$ . Рідкісний. Сингонія – моноклінна. R менше 10 %. Колір у відбитому світлі сірий, дещо світліше за нерудні мінерали. У косому світлі жовті або зеленуваті внутрішні рефлекси. Твердість висока (5...5,5). Порошок білий. У схрещених ніколях іноді проявляється явище анізотропії. Усі звичайні засоби травлення не діють.

### 123. Троїліт

Хімічна формула  $\text{FeS}$ . Дуже рідкісний. Сингонія – гексагональна. Трапляється в метеоритах у формі зерен і виділень невірної форми. А.Г. Бетехтін встановив троїліт в перидотитах. У відбитому світлі дуже схожий з піротином. R = 38 %. Під мікроскопом колір кремово-рожевий. Твердість середня (4). Сильно анізотропний. За вказівкою більшості авторів, немагнітний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  і  $\text{HCl}$  – закипає з виділенням  $\text{H}_2\text{S}$ ;
- 2) КОН – повільно викликає іризацію;
- 3)  $\text{FeCl}_3$ , KCN,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

На відміну від піротину має більше кремовий колір і активно реагує з  $\text{HNO}_3$  і  $\text{HCl}$ .

### 124. Тур'їт

Хімічна формула – механічна суміш гідрооксидів заліза. Поширений. Тур'їт є механічною сумішшю гідрогетиту і гідрогематиту, що знаходяться в тісних проростаннях. Трапляється в щільно-зернистих або охристих масах; іноді коломорфний або у вигляді радіально-променистих стягнень. Колір у відбитому світлі сіро-білий. Твердість середня або висока. Порошок червоний. Травлення – усі реактиви не діють.

### 125. Умангіт

Хімічна формула  $\text{Cu}_3\text{Se}_2$ . Дуже рідкісний. R = 18...16 %. Двовідбиття слабе. Колір пурпурний, схожий на борніт, що потьмянів. Твердість низька (2). Сильно анізотропний; колір у відбитому світлі в діагональному положенні вогняно-помаранчевий.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – пари дають потьмарення, поверхня стає синьою;
- 2)  $\text{HCl}$  – поверхня синіє;
- 3) KCN – дає неоднорідне потьмарення і виявляє зернисту структуру;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  і  $\text{HgCl}_2$  – поверхня синіє;
- 5) КОН – негативна.

Асоціює з клокманітом і клаусталітом.

### 126. Уранініт

Хімічна формула  $UO_2$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна. Трапляється в кубічних кристалах або у вигляді зернистих агрегатів. Коломорфні різновиди називають урановими смолками, а сажі – урановою черню. У поверхневих умовах навкруги уранініту утворюються наліти жовтого або помаранчево-червоного кольору, які добре помітні під мікроскопом в косому світлі. Ці реакційні облямівки для уранініту є хорошою діагностичною ознакою.  $R = 14\%$ . Колір у відбитому світлі сірий з легким коричневим відтінком. Твердість висока (6...7), але мінлива. Зрідка помітні слабкі темно-коричневі внутрішні рефлекси. Ізотропний.  $FeCl_3$  – дає повільне потьмарення в темно-коричневий колір.

При травленні реактивами  $HNO_3$ ,  $HCl$ , царською горілкою,  $KCN$ ,  $HgCl_2$  реакції негативні.

Уранініт радіоактивний і тому дає відбиток на фотопластині, що відрізняє його від дуже схожого з ним під мікроскопом хромшпінеліду.

### 127. Фаматиніт

Хімічна формула  $3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$ . Дуже рідкісний. Сингонія – ромбічна. Призматична спайність.  $R = 25\%$ . Колір у відбитому світлі рожевувато-білий, світліше за борніт, схожий на рожевий енаргіт. Твердість середня (3). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $HNO_3$  – забарвлюється неоднорідний у веселковий колір, пари дають потьмарення;
- 2)  $HCl$  – негативна;
- 3)  $KCN$  – забарвлюється неоднорідний в темний колір, реакція повільніша, ніж у енаргита;
- 4)  $FeCl_3$ ,  $KOH$ ,  $HgCl_2$  – негативні;
- 5) царська горілка – слабке закипання, бурий наліт.

### 128. Ферберит

Хімічна формула  $FeWO_4$ . Рідкісний. Сингонія – моноклінна.  $R = 17\%$ . Колір у відбитому світлі сірий, подібний до сфалериту. Твердість вища за середню (4...5). Слабо анізотропний. Порошок темний, майже металевий. Слабо магнітний. Усі реактиви негативні. Подібний до вольфрамиту, від якого відрізняється негативною реакцією на марганець, що виконується мікрохімічним методом.

### 129. Флюорит

Хімічна формула  $CaF_2$ . Поширений. Сингонія – кубічна.  $R = 3\%$ . Колір у відбитому світлі тім'яно-сірий, темніше за кварц. Твердість низька. Полірується добре. Ізотропний. Сильні внутрішні рефлекси. Травлення не вивчено.

### 130. Франклініт

Хімічна формула  $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})\text{O} \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{O}_3$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 16\%$ . Колір у відбитому світлі сірий, схожий з кольором магнетиту; густо-червоні внутрішні рефлекси. При дряпанні виходить темно-коричневий порошок. Порошок іноді магнітний. Ізотропний. Твердість висока (6).

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – негативна;
- 2)  $\text{HCl}$  – зазвичай негативна, але пари її дають іноді потьмарення, розчин жовтіє;
- 3)  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;
- 4) розчин царської горілки жовтіє.

### 131. Фрейбергит

Хімічна формула  $3(\text{Cu}, \text{Ag})_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ . Дуже рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 32\%$ . Колір у відбитому світлі сіро-білий. Колір порошку червоний до чорного. Внутрішні рефлекси червоні, не завжди розрізняються. Твердість середня (3). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – повільно забарвлюється в коричневий колір;
- 2)  $\text{KOH}$ ,  $\text{HCl}$  і  $\text{KCN}$  – негативні;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – іноді тьмяніє, іризує;
- 4)  $\text{HgCl}_2$  – залишає плямистий осад, частіше негативна.

### 132. Халькозин

Хімічна формула  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Дуже поширений. Сингонія – кубічна і ромбічна.  $R = 29\text{...}22\%$  (мінливий). Колір у відбитому світлі білий (для чистого халькозину), блакитно-білий (присутність у вигляді твердого розчину ковеліну) і рожево-сірий (присутність у вигляді твердого розчину, борніту). Твердість низька (2). Гіпогенний халькозин, що містить не більше 8% розчиненого ковеліну, ізотропний. Дуже дрібнозернистий супергенний халькозин також, очевидно, ізотропний. У більшості випадків і гіпогенний і супергенний халькозин слабо анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – сильно закипає, мінерал забарвлюється в синій колір (у деяких ізотропних різницях виявляється октаедрична спайність після травлення, але дуже дрібнозернистий супергенний халькозин такої спайності не виявляє);
- 2)  $\text{HCl}$  – негативна, деякі різниці слабо тьмяніють;
- 3)  $\text{KCN}$  – швидко забарвлюється в чорний колір; спочатку виявляється спайність, але якщо залишити краплю на триваліший термін, залишається шорстка роз'їдена поверхня;

4)  $\text{FeCl}_3$  – забарвлюється в синій колір; на деяких ізотропних зразках виявляється октаедрична спайність;

5)  $\text{KOH}$  – негативна;

6)  $\text{HgCl}_2$  – дає легке потьмарення.

На основі рентгенометричних досліджень Бюргера виділяють ще так званий дигеніт  $\text{Cu}_9\text{S}_5$ , який виглядає так само, як блакитний халькозин, але є ізотропним. Дигеніт був отриманий штучно проф. Д.П. Григор'євим.

### 133. Халькопірит

Хімічна формула  $\text{CuFeS}_2$ . Дуже поширений. Сингонія – тетрагон. Трапляється у вигляді невірних виділень, петель, жилок і в суцільних масах; кристали рідкісні. Відомі випадки коломорфної текстури халькопіриту.  $R = 47\%$ . Колір у відбитому світлі латунно-жовтий, у контакті із золотом помітний слабкий зеленуватий відтінок. Твердість середня (3). Більшість зразків слабо, але явно анізотропні, лише невелика їх частина, певно, ізотропна.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1)  $\text{HNO}_3$  – пари дають потьмарення, для деяких різниць негативна;

2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні;

3) пари царської горілки дають неоднорідне потьмарення і виявляють зернисту структуру (площа, покрита краплею, зазвичай повільно забарвлюється в коричневий колір, але деякі ділянки залишаються майже незачепленими);

4)  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%) +  $\text{NH}_4\text{OH}$  – виявляється структура;

5) під дією насиченого розчину  $\text{AgNO}_3$  тьмяніє (відмінність від золота);

6)  $\text{HNO}_3$  (концентрована) +  $\text{KClO}_3$  (кристалічна) – виявляється структура.

Легко дряпається голкою, що відрізняє його від піриту.

Халькопірит – найважливіший мінерал міді, що трапляється в родовищах різного генезису.

Характерний парагенезис халькопіриту з піритом, піротином, сфалеритом, борнітом та ін.

### 134. Хлоантит

Хімічна формула  $\text{NiAs}_2$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна. Форма зерен ізометрична, іноді ангедральна.  $R = 56\%$ . У відбитому світлі має білий колір. Твердість вища за середню (4...5). Полірується досить добре (краще за пірит). Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1)  $\text{HNO}_3$  – іноді закипає, повільно буріє, виявляється зональна структура;

2)  $\text{HCl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  і  $\text{KOH}$  – негативні;

3)  $\text{FeCl}_3$  – слабо буріє, виявляється структура;

4)  $\text{H}_2\text{O}_2$  – буріє, темніє, виявляється зональна структура.

5) царська горілка – закипає.

### 135. Хризокола

Хімічна формула  $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Рідкісна. Трапляється у вигляді нальотів і щільних мас в зоні окислення. Аморфний мінерал. R менше 10 %. Колір у відбитому світлі сірий з ледве помітним кремовим відтінком. У косому світлі ясно-зелена або блакитна. Порошок ясно-блакитний або безбарвний. Твердість від низької до середньої (2...4). Ізотропна.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  і  $\text{HCl}$  – виявляється коломорфна будова;
- 2)  $\text{FeCl}_3$  діє не завжди;
- 3)  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{KCN}$  – негативні.

### 136. Хроміт (хромшпінелід)

Хімічна формула  $(\text{Fe}, \text{Mg}) \cdot (\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ . Дуже поширений. Сингонія – кубічна. Ізометричний. Ідіоморфний, іноді ксеноморфний. R = 14 %. Колір у відбитому світлі сірий, темніше за магнетит і ільменіт. Твердість висока (6...7,5 за Моосом). Полірується погано, часто має шорстку поверхню. Ізотропний. Немагнітний. Метаморфізований хроміт має магнітні властивості. Внутрішні рефлекси жовто-бурі або червоні; помітні не завжди. Порошок світло-коричневий.

Діагностичне травлення – усі реактиви негативні. При суцільному травленні сумішшю  $\text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$  під час кип'ятіння впродовж 30...60 хв. проявляється спайність.

### 137. Церусит

Хімічна формула  $\text{PbCO}_3$ . Поширений. Сингонія – ромбічна. Форма зерен кристалічна, частіше неправильна, у вигляді жилок, облямівок і коломорфних скупчень. R = 12...8 %. Двовідбиття сильне. У відбитому світлі має сірий колір, помітно світліше за кальцит і інші нерудні мінерали. У косому світлі, білий, безбарвний, іноді з жовтим відтінком від забарвлюючих оксидів заліза. Порошок білий. Полірується добре. Твердість середня (3). У схрещених ніколях помітне явище анізотропії.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипання і потемніння мінералу від розчинення полірованої поверхні;
- 2)  $\text{HCl}$  – закипання, утворюється безбарвний кристалічний осадок  $\text{PbCl}_2$  (дивитися в косому світлі);
- 3)  $\text{FeCl}_3$  і  $\text{KOH}$  – виявляється структура;
- 4)  $\text{HgCl}_2$  – слабо виступає структура;
- 5)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – дає білий осад  $\text{Pb}_5\text{O}_4$  (дивитися в косому світлі)

Церусит у присутності англезиту (і на відміну від нього) від дії холодного розчину 1 %  $\text{CrO}$  впродовж однієї хвилини покривається яскраво-жовтим нальотом хромату.



### 138. Циліндрит (киліндрит)

Хімічна формула  $6\text{PbS}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3\cdot 6\text{SnS}_2$ . Дуже рідкісний. Сингонія – тетрагон. R = 40 %. Колір у відбитому світлі сіро-білий. Твердість нижча за середню (2...3). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – пари дають потьмарення і повільно забарвлюється у веселковий колір;
- 2)  $\text{HCl}$  – пари дають потьмарення, після двохвилинного труїння трохи забарвлюється;
- 3)  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KCN}$  – негативні;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – забарвлюється в трохи коричневий колір;
- 5)  $\text{KOH}$  – забарвлюється у світло-сірий, місцями веселковий колір;
- 6) царська горілка – буріє, іризує, від парів тьмяніє.

### 139. Цинкіт

Хімічна формула  $\text{ZnO}$ . Дуже рідкісний. Сингонія – гексагональна. R = 11 %. Колір у відбитому світлі світло-рожево-сірий. Твердість середня (3). Внутрішні рефлекси жовті до карміново-червоних. Явище анізотропії непомітне – заважають рефлекси. Травлення не вивчено.

### 140. Шеєліт

Хімічна формула  $\text{CaWO}_4$ . Поширений. Сингонія – тетрагональна. R = 10 %. Колір у відбитому світлі сірий, значно світліше за нерудні мінерали (кварц, кальцит та ін.). У косому світлі жовтуватий або безбарвно-прозорий. Порошок білий. Твердість вища за середню (4...5); риса виходить з великим натиском. У схрещених ніколях явище поляризації непомітне із-за внутрішніх рефлексів. У шліфі іноді помітна спайність.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  діє слабо;
- 2)  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KOH}$  і  $\text{KCN}$  – негативні;
- 3)  $\text{HCl}$  – виявляються слабкі штрихи за спайністю.

### 141. Шмальтин

Хімічна формула  $\text{CoAs}_2$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна. R = 56 %. Форма зерен ангедральна, іноді із зональною будовою. Колір у відбитому світлі білий. Твердість вища за середню (4...5). Полірується дещо краще за кобальтин. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – закипає енергійно, темніє, після змивання – сірий, зональна структура;
- 2)  $\text{HCl}$  і  $\text{KCN}$  – негативні;
- 3)  $\text{FeCl}_3$  – стає блідо-коричневим, виявляється структура, іноді негативно;

- 4)  $\text{HgCl}_2$  – повільно буріє, стирається;
- 5)  $\text{KOH}$  – негативна;
- 6)  $\text{H}_2\text{O}_2$  – іризує, виявляється зональна структура;
- 7)  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$  – виявляється структура.

#### 142. Штернбергіт

Хімічна формула  $\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_4\text{S}_5$ . Рідкісний. Сингонія – ромбічна. Кристали таблитчасті, зазвичай у віялоподібних агрегатах.  $R = 44 \dots 34 \%$ ; двовідбиття сильне. Колір у відбитому світлі кремовий з рожевим відтінком. Твердість низька (2). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{NO}_3$  – забарвлюється в сірий колір;
- 2)  $\text{KOH}$  швидко забарвлюється у світло-коричневий колір;
- 3)  $\text{KCN}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HgCl}_2$  – негативні.

#### 143. Штрмейерит

Хімічна формула  $(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S}$ . Дуже рідкісний. Сингонія має дві модифікації – кубічну і ромбічну, з температурою перетворення близько  $100^\circ$ . Трапляється в суцільних масах і кристалах.  $R = 27 \%$ . Двовідбиття дуже слабе. Колір у відбитому світлі сірувато-білий з фіолетово-рожевим відтінком. Твердість низька (2). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – дає потьмарення, від парів коричневий наліт;
- 2)  $\text{KCN}$  – швидко забарвлюється в коричневий колір;
- 3)  $\text{HCl}$  (концентрована) – відразу темніє, від парів – іризуючий наліт;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – іризуючий наліт, що легко віддаляється;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  – забарвлюється веселково;
- 6)  $\text{KOH}$  – негативна

Світлове травлення з вольтовою дугою.

#### 144. Електрум

Хімічна формула  $\text{Au}$ ,  $\text{Ag}$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна. Форма зерен ізометрична або неправильна: жилки, дендрит і т. д.  $R$  до  $90 \%$  (мінливий). Колір у відбитому світлі ясно-жовтий. Твердість низька (2). Сильний блиск. Ковкий. Полірується добре. Ізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

- 1)  $\text{HNO}_3$  – від парів тьмяніє, слабо закипає;
- 2)  $\text{HCl}$  – негативна;
- 3)  $\text{KCN}$  – темніє, після змивання стає ямчатим, втрачає жовтий відтінок, завдяки розчиненню  $\text{Au}$ ;
- 4)  $\text{FeCl}_3$  – негативно; іноді буріє, іризує;
- 5)  $\text{HgCl}_2$  – буріє, іризує (до чорного);

6) КОН – негативна.

#### **145. Енаргіт**

Хімічна формула  $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$ . Поширений. Сингонія – ромбічна.  $R = 23 \%$ . Двовідбиття слабе. Колір у відбитому світлі у одного різновиду світло-сірий, у інший рожевуватий; обидва різновиди можна спостерігати в одному і тому самому зразку. Твердість середня (3...4). Сильно анізотропний.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1) на поверхні мінералу пари розчину  $\text{HNO}_3$  дають слабе потьмарення; іноді негативні;

2) при травленні розчином  $\text{KCN}$  поверхня мінералу забарвлюється в чорний колір і іноді виявляється паралельна структура;

3) реакції з розчинами  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ , КОН – негативні;

4)  $\text{HgCl}_2$  – іноді трохи забарвлюється.

Внаслідок нанесення на поверхню мінералу олії іноді проявляються червоні рефлекси.

#### **146. Еритрин**

Хімічна формула  $\text{Co}_3\text{As}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Рідкісний. Сингонія – моноклінна. Трапляється в землихих скупченнях і у вигляді променисто-листуватих агрегатів.  $R$  менше 10 %. Колір у відбитому світлі сірий. Рожеві внутрішні рефлекси. Твердість низька. Порошок білий або рожевувато-білий. Явище поляризації маскується кольором внутрішніх рефлексів.

В процесі діагностичного травлення поверхні мінералу реактивами спостерігаються наступні явища:

1) на поверхні мінералу розчин КОН іризує, стирається начисто;

2) після дії розчинами  $\text{HNO}_3$  і  $\text{HCl}$  утворюється шорстка поверхня від розчинення;

3) реакції з розчинами  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  негативні.

#### **147. Якобсит**

Хімічна формула  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ . Рідкісний. Сингонія – кубічна.  $R = 20 \%$ . У відбитому світлі колір сірувато-білий з відтінком оливкового. Твердість висока (6). Ізотропний. Червоні внутрішні рефлекси зрідка спостерігаються в імерсійній олії при схрещених ніколях. Усі звичайні засоби для діагностичного травлення не діють. Магнітний.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Микроскопы поляризационные агрегатные рабочие рудные «ПОЛАМ Р-311» и «ПОЛАМ Р-312» [Текст]. – Л.: ЛОМО, 1991. – 60 с.
2. Микроскоп стереоскопический МБС-9 [Текст]. Паспорт. 1980. – 15 с.
3. Апертура // Геологический словарь, Том 1 [Текст] / Главный редактор К.Н. Паффенгольц. — М.: «Недра», 1973. – 488 с.
4. Белянкин, Д.С. Петрография технического камня [Текст]: Д.С. Белянкин, Б.В. Иванов, В.В. Лапин. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1952. – 583 с.
5. ГОСТ 9284-75. Стекла предметные для микропрепаратов. Часть 2. Технические условия [Текст]. – Введ. 1977-01-01 – М.: Издательство стандартов, 1999. – 12 с.
6. Богомолова, Н.А. Практическая металлография [Текст]: учеб. / Н.А. Богомолова. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 1982. – 272 с.
7. Гордон, А. Спутник химика [Текст]: пер. с англ. Е.Л. Розенберга, С.И. Коппеля / А. Гордон, Р. Форд. – М.: Мир, 1976. – 544с.
8. Экспериментальная и техническая петрология [Текст] / Е.Н. Граменицкий, А.Р. Котельников, А.М. Батанова и др. – М.: Научный Мир, 2000. – 416 с.
9. Крейг, Дж. Рудная микроскопия и рудная петрография [Текст]: пер. с англ. Ю.С. Бородаева, А.Д. Генкина; под общ. ред. Т.Н. Шалдун / Дж. Крейг, Д. Воган. – М.: Мир, 1984. – 423 с.
10. Куцевол, Л.І. Визначення породотвірних мінералів у прозорих шліфах [Текст]: навч. посібник / Л.І. Куцевол. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 127 с.
11. Галопен, Р. Исследование непрозрачных минералов под микроскопом [Текст]: пер. с англ. Н.Н. Мозговой, В.И. Старостина, под общ. ред. Ю.С. Бородаева / Р. Галопен, Н. Генри. – М: Мир, 1975. – 363с.
12. Кэмерон, Ю.Н. Рудная микроскопия [Текст]: пер. с англ. / Ю.Н. Кэмерон. – Н.Н. Мозговой, И.Н. Томсона – М.: Мир, 1966. – 308с.
13. Современные методы исследования минералов, горных пород и руд [Текст]: учеб. пособие / Г.Н. Богданова, Р.Л. Бродская, В.В. Гавриленко и др.; под. общ. ред. В.В. Гавриленко. – СПб, – Санкт-Петербургский горный институт, 1997. – 137 с.
14. Четвериков, С.Д. Методика кристаллооптических исследований шлифов [Текст] / С.Д. Четвериков. – М.: Госгеолиздат, 1949. – 155 с.
15. Татарский, В.Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов [Текст] / В.Б. Татарский. – М.: «Недра», 1965. – 307 с.
16. Волынский, И.С. Определение рудных минералов под микроскопом [Текст] / И.С. Волынский. – М.: Госгеолиздат, 1947. – 65 с.
17. Волынский, И.С. – Определение рудных минералов под микроскопом [Текст] / И.С. Волынский. – М: Госгеолиздат, 1949. – 338 с.
18. Вахромеев, С.А. Руководство по минераграфии [Текст] / С.А. Вахромеев. – М.: Госгеолиздат, 1950. – 198 с.

19. Рамдор, П. Рудные минералы и их сростания [Текст]: пер. с англ. А.Д. Генкина, Т.Н. Шадлун / П. Рамдор. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 1132с.
20. Кэмерон, Ю.Н. Рудная микроскопия [Текст]: пер. с англ. Н.Н. Мозговой, И.Н. Томсона / Ю.Н. Кэмерон. – М.: Мир, 1969. – 320 с.
21. Торопов, Н.А. Лабораторный практикум по минералогии [Текст]: учеб. пособие / Н.А. Торопов, Л.Н. Булак – Л.: Изд-во литературы по строительству, 1969. – 240 с.
22. Юшко, С.А. Методы лабораторного исследования руд [Текст] / С.А. Юшко. – М.:Недра, 1971.– 344 с.
23. Галопен, Р. Исследование непрозрачных минералов под микроскопом [Текст]: пер. с англ. Н.Н. Мозговой / Р. Галопен, Н. Генри. – М: Мир, 1980. – 365 с.
24. Исаенко, М.П. Определитель текстур и структур руд [Текст] / М.П. Исаенко. – М.: Недра, 1975. – 227 с.
25. Вяльсов, Л.Н. Оптические методы диагностики рудных минералов [Текст] / Л.Н. Вяльсов. – М.: Недра, 1976. – 200 с.
26. Чвилева, Т.Н. Цвет рудных минералов в отраженном свете [Текст] / Т.Н.Чвилева, В.Е.Клейнбок, М.С.Бессмертная. – М.: Недра, 1977. – 187 с.
27. Шумская, Н.И. Определитель рудных минералов по спектральным кривым отражения [Текст] / Н.И. Шумская. – Л.: Недра, 1985. – 230 с.
28. Беккерт, М. Способы металлографического травления [Текст] / М. Беккерт, Х. Клемм. – М.: Металлургия, 1988. – 400 с.
29. Богданова, Г.Н. Современные методы исследования минералов, горных пород и руд [Текст]: учеб. пособие / Г.Н. Богданова, Р.Л. Бродская; под. общ. ред. В.В. Гавриленко. – СПб, – Санкт-Петербургский горный институт, 1993. – 137 с.
30. ГОСТ 9414.2-93. Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 2. Метод подготовки образцов угля. [Текст]. – Введ. 1979-01-01 – М.: Издательство стандартов, 1993. – 17 с.
31. Ларсен, Е. Определение прозрачных минералов под микроскопом [Текст] / Е. Ларсен, Г. Берман. – М., Недра, 1965. – 464 с.
32. Оникиенко, С.К. Специальные методы исследования породообразующих минералов в прозрачных шлифах и препаратах [Текст] / С.К. Оникиенко. – М., Недра, 1972. – 102 с.
33. Трегер, В.Е. Оптическое определение породообразующих минералов [Текст] / В.Е. Трегер. – М., Недра, 1980. – 208 с.
34. Стойбер, Р. Определение кристаллов под микроскопом [Текст] / Р. Стойбер, С. Морзе. – М.: «Мир», 1974. – 201 с.
35. Физическое металловедение [Текст]: учеб. пособие / Под редакцией Р. Кана, выпуск 2. – М.: Мир, 1968 – 490 с.
36. Богомолова, Н.А. Практическая металлография: учебник для техн. училищ [Текст]: учеб. / Н.А. Богомолова; 2-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 1982. – 272 с.
37. ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников» (Measurements microhardness by diamond instruments indentation).

Технические условия [Текст]. – Введ. 1998-01-01 – М.: Издательство стандартов, 2001. – 12 с.

38. Микротвердость материалов: методические указания к лабораторной работе [Текст]: учеб. пособие / под. ред. С.Н. Паршева, С.Ю. Полозенко; ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – 15 с.

39. Шахов, Ф.Н. Текстуры руд [Текст] / Ф.Н. Шахов. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 180 с.

40. Бетехтин, А.Г. Структурно-текстурные особенности эндогенных руд [Текст] / А.Г. Бетехтин, А.Д. Генкин, А.А. Филимонова и др. – М.: Недра, 1964. – 598 с.

41. Талдыкин, С.И. Атлас текстур и структур руд [Текст] / С.И. Талдыкин, Н.Ф. Гончарик, Г.Н. Еникеева. – М.: Госгеолиздат, 1964. – 268 с.

42. Петровская, Н.В. О понятии «парагенетическая минеральная ассоциация» [Текст] / Н.В. Петровская // Геология рудных месторождений. – 1967. – №2. – С. 69–78.

43. Калугин, А.С. Атлас текстур и структур вулканогенно-осадочных железных руд Алтая [Текст] / А.С. Калугин. – Л.: Недра, 1970. – 176 с.

44. Карамян, К.А. Текстуры и структуры руд эндогенных месторождений Зантезура [Текст] / К.А. Карамян. – Ереван: Изд-во Арм.ССР, 1972. – 172 с.

45. Афанасьева, Е.Л. Определитель гипергенных минералов окисленных сульфидных руд в отраженном свете [Текст] / Е.Л. Афанасьева, М.П. Исаенко. – М.: Недра, 1974. – 79 с.

46. Исаенко, М.П. Определитель текстур и структур руд [Текст] / М.П. Исаенко. – М.: Недра, 1983. – 258 с.

47. Юшко, С.А. Методы лабораторного исследования руд [Текст] / С.А. Юшко. – М.: Недра, 1984. – 389с.

48. Смирнов, В.И. Геология рудных месторождений [Текст] / В.И. Смирнов – М.: Недра, 1982. – 669 с.

49. Глазковский, В.А. Оценка текстурных и структурных особенностей руд при изучении их обогатимости [Текст] / В.А. Глазковский, В.В. Доливо-Добровольский. – М.: Metallurgizdat, 1946. – 26 с.

50. Глазковский, В.А. Геолого-минералогические основы технологической оценки руд месторождений железа [Текст] / В.А. Глазковский. – М.: Госгеолтехиздат, 1954. – 182 с.

51. Исаенко, М.П. Методическое пособие к лабораторным занятиям по курсу минераграфии для студентов геологической и обогатительной специальностей [Текст] / М.П. Исаенко, С.А. Юшко. – Изд-во ДПИ, 1960. – 122 с.

52. Карякин, Л.И. Петрография огнеупоров [Текст] / Л.И. Карякин. – Харьков: Изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1962. – 314с.

53. Малышева, Т.Я. Петрография железорудного агломерата [Текст] / Т.Я. Малышева. – М.: Наука, 1969. – 168 с.

54. Юшко, С.А. Диагностические свойства рудных минералов [Текст] / С.А. Юшко, О.Е. Юшко-Захарова, С.И. Лебедева, И.Е. Максимюк. – М.: Недра, 1969. – 214 с.

55. Мальцев, М.В. Metalлография промышленных цветных металлов и их сплавов [Текст] / М.В. Мальцев. – М.: Metalлургия, 1970. – 367 с.
56. Пирогов, Б.И. Минералогическое исследование железных и марганцевых руд [Текст] / Б.И. Пирогов, В.В. Пирогова. – М.: Недра, 1973. – 213 с.
57. Шинкаренко, С.Ф. Справочник по обогащению руд черных металлов [Текст] / С.Ф. Шинкаренко, Е.П. Белецкий, А.А. Ширяев и др. – М.: Недра, 1980. – 527 с.
58. Перепелицын, В.А. Основы технической минералогии и петрографии [Текст] / В.А. Перепелицын. – М.: Недра, 1987. – 255 с.
59. Модель, М.С. Ферритообразование в железорудном сырье [Текст] / М.С. Модель, В.Я. Лядова, Н.В. Чугунова. – М.: Наука, 1990. – 151 с.
60. Воган, Д. Рудная микроскопия и рудная петрография [Текст]: пер. с англ. Ю.С. Бородаева; под общ. ред. Т.Н. Шалдун / Д. Воган, Дж. Крейг. – М.: Мир, 1986. – 429 с.
61. Новиков, И.И. Дефекты кристаллического строения металлов [Текст] / И.И. Новиков. – М.: Metalлургия, 1975. – 208 с.
62. Бетехтин, А.Г. Минералогия [Текст] / А.Г. Бетехтин. – М.: Госгеолиздат, 1951. – 956 с.
63. Вахромеев, С.А. Руководство по минераграфии [Текст] / С.А. Вахромеев. – Иркутск, 1956. – 264 с.
64. Сиротин, К.М. Определитель минералов (минералы магматических и метаморфических пород под микроскопом [Текст] / К.М. Сиротин. – М.: Высшая школа, 1970. – 262 с.
65. Юшко, С.А. Методы лабораторного исследования руд [Текст] / С.А. Юшко. – М.: Недра, 1971. – 344 с.
66. Исаенко, М.П. Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете [Текст] / Исаенко М.П., Боришанская С.С., Афанасьева Е.Л. – М.: Недра, 1972. – 144 с.
67. Яхонтова, Л.К. – Минералогия окисленных руд [Текст] / Л.К. Яхонтова, А.П. Грудев. – М.: Недра, 1987. – 200 с.
68. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете [Текст] / Т.Н. Чвилева, М.С. Бессмертная, Э.М. Спиридонов и др. – М.: Недра, 1988. – 503 с.
69. Минералы благородных металлов [Текст] / О.Е. Юшко-Захарова, В.В. Иванов, Л.Н. Соболева, и др. – М.: Недра, 1986. – 272 с.
70. Бессмертная, М.С. Определение теллуридов под микроскопом [Текст] / М.С. Бессмертная, Л.А. Логинова, Л.Н. Соболева. – М.: Наука, 1969. – 175 с.

## ПОКАЖЧИК МІНЕРАЛІВ

<b>А</b>		Глаукодот	191
Азурит	180	Гранат	191
Айкініт	180	Графіт	191
Алабандін	180	Гринокіт	191
Алтаїт	181	Гюбнерит	192
Англезит	181	<b>Д</b>	
Аргентит	181	Джемсоніт	192
Арсенопірит	182	Дискразит	192
Аурипігмент	182	<b>Е</b>	
<b>Б</b>		Електрум	221
Барит	182	Енаргіт	222
Берт'єрит	183	Еритрин	222
Боксит	183	<b>З</b>	
Борніт	183	Залізо	192
Бравоїт	184	Зигеніт	193
Брауніт	184	Золото	193
Брейтгауптит	184	<b>І</b>	
Буланжерит	185	Ільменіт	193
Бурноніт	185	Іорданіт	194
<b>В</b>		<b>К</b>	
Валентиніт	185	Калаверит	194
Валлериіт	185	Кальцит	194
Ванадиніт	185	Каситерит	194
Вернадит	186	Кварц	195
Віоларит	186	Кераргірит	195
Вісмут	186	Кермезит	195
Вісмутин	187	Кіновар	195
Вітихеніт	187	Клаусталіт	196
Вольфраміт	187	Клокманіт	196
Вуртцит	187	Кобальтин	196
<b>Г</b>		Ковелін	197
Галеніт	188	Колумбіт-танталіт	197
Галмей (каламін)	188	Кренерит	197
Гарнієрит	189	Кубаніт (чальмерзит)	197
Гаусманіт	189	Куприт	198
Гематит	189	<b>Л</b>	
Германіт	190	Лелінгіт	198
Герсдорфіт	190	Лепідокрокіт	198
Гесит	190	Лимоніт (гідрогетит)	198
Гетит	190	Лінеїт	199
Гідрогетит	191	Люцоніт	199



<b>М</b>		Скородит	210
Магеміт	199	Скутерудит	211
Магнетит	199	Слюда	211
Малахіт	200	Смітсоніт	211
Манганіт	200	Спериліт	211
Марказит	200	Станін	212
Маухерит	201	Стефаніт	212
Мідь самородна	201	Стибніт	212
Мельниковіт	201	(антимоніт)	212
Менегиніт	202	Сурма	213
Метацинабарит	202	Сфалерит	213
Мілерит	202	<b>Т</b>	
Молібденіт	203	Тенантит	213
Миш'як	203	Тенорит	214
<b>Н</b>		Тетрадиміт	214
Нікелін	203	Тетраедрит	214
<b>О</b>		Титаніт	215
Олівін	203	Троїліт	215
Осмістий іридій	203	Тур'їт	215
<b>П</b>		<b>У</b>	
Пентландит	204	Умангіт	215
Петцит	204	Уранініт	216
Піраргірит	204	<b>Ф</b>	
Пірит	205	Фаматиніт	216
Піроксен	205	Ферберит	216
Піролюзит	205	Флюорит	216
Піроморфіт	206	Франклініт	217
Піротин	206	Фрейбергит	217
Платина	206	<b>Х</b>	
Польовий шпат	207	Халькозин	217
Полібазит	207	Халькопірит	218
Полідиміт	207	Хлоантит	218
Прустит	207	Хризокола	219
Псиломелан-вад	208	Хроміт	219
<b>Р</b>		<b>Ц</b>	
Реальгар	208	Церусит	219
Родохрозит	208	Циліндрит	220
Рутил	209	Цинкіт	220
<b>С</b>		<b>Ш</b>	
Сафлорит	209	Шеєліт	220
Сірка	209	Шмальтин	220
Срібло	209	Штернбергіт	221
Сидерит	210	Штромейерит	221
Сильваніт	210	<b>Я</b>	
		Якобсит	222

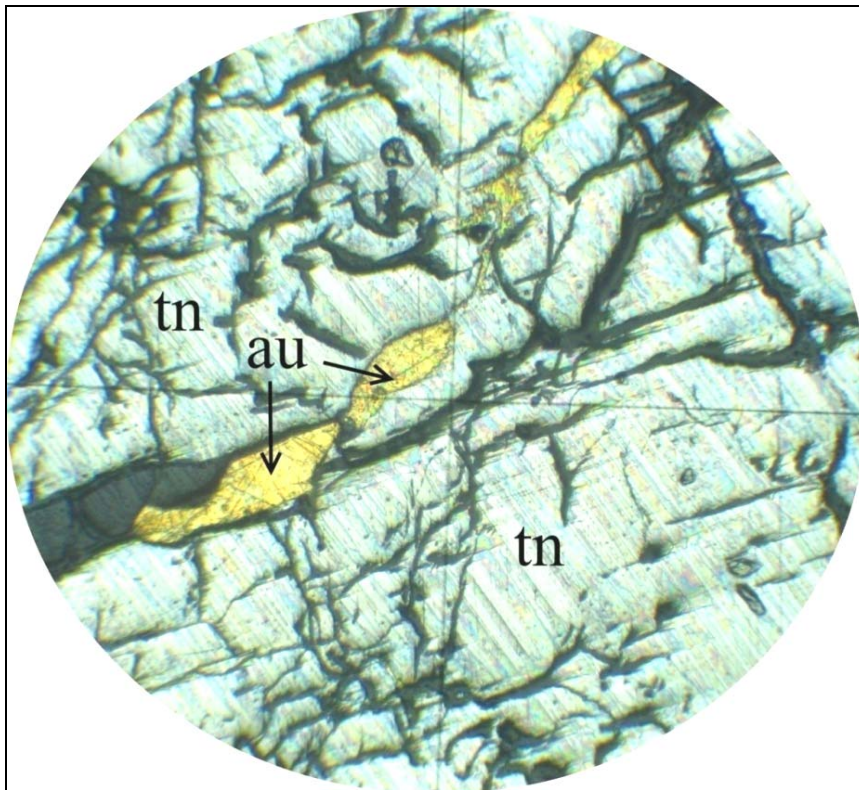


Рис. 1. Різна відбивна здатність золота (au) ( $R = 84\%$ ) і тенантиту (tn) (ясно-сірий,  $R = 29\%$ ).  
Світло відбите, ніколі  $\parallel$ , збільш.  $108^{\times}$

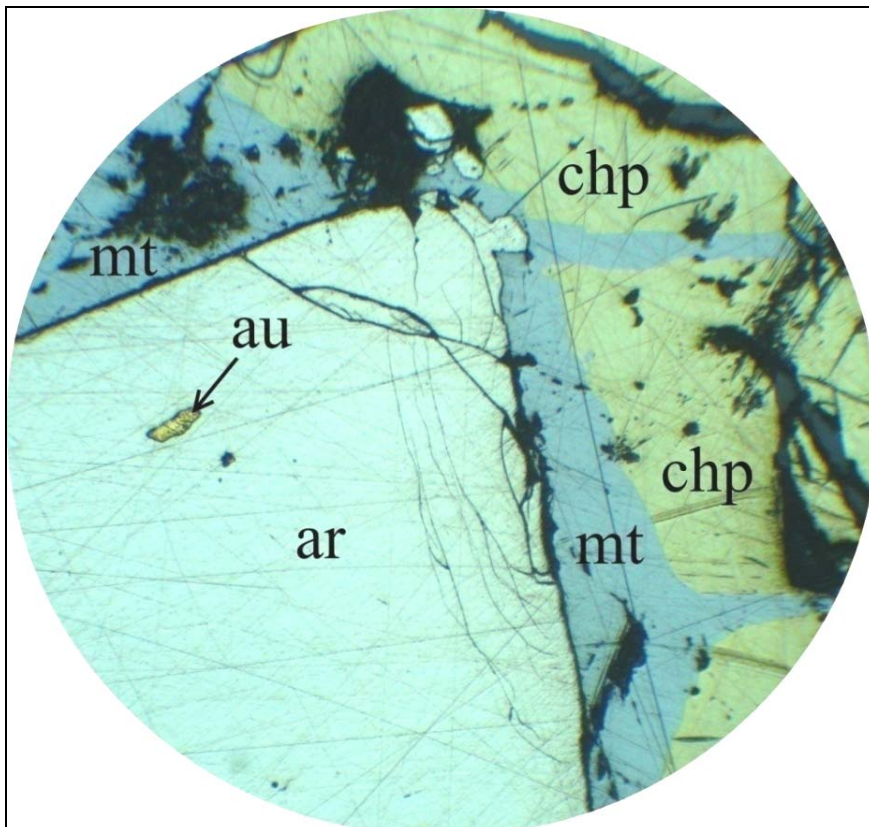


Рис. 2. Різна відбивна здатність магнетиту (mt) (сірий,  $R = 20\%$ ), халькопіриту (chp) (латунно-жовтий,  $R = 47\%$ ), арсенопіриту (ar) (жовтувато-білий,  $R = 53\%$ ) і золота (au) (лусочка в арсенопіриті) ( $R = 84\%$ ). Світло відбите, ніколі  $\parallel$ , збільш.  $108^{\times}$

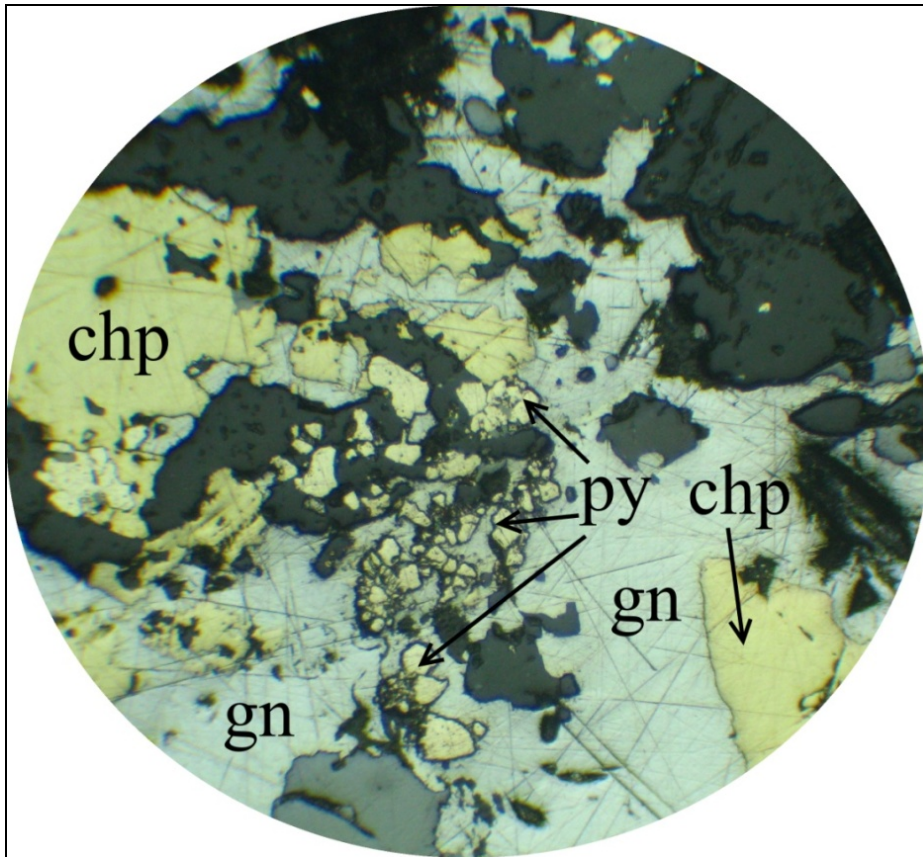


Рис. 3. Різні кольори рудних мінералів: пірит (py) – солом'яно-жовтий, халькопірит (chp) – латунно-жовтий, галеніт (gn) – еталон білого. Світло відбите, ніколи ||, збільш.  $90^{\times}$

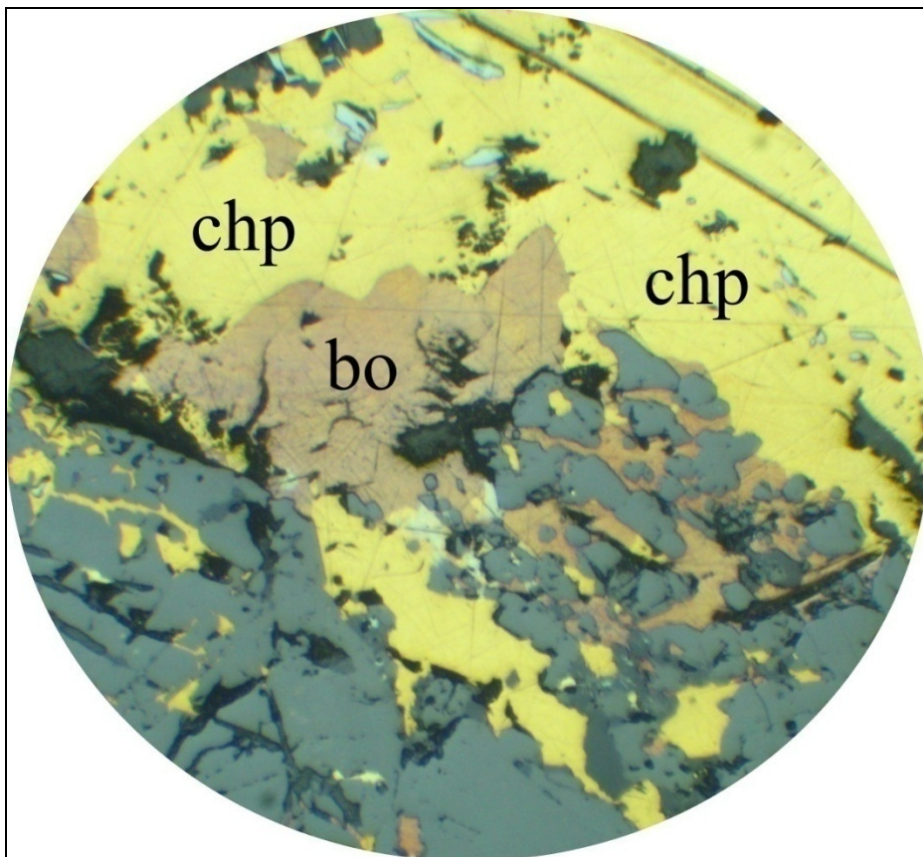


Рис. 4. Різні кольори рудних мінералів: халькопірит (chp) – латунно-жовтий, борніт (bo) – бузково-рожевий. Світло відбите, ніколи ||, збільш.  $90^{\times}$

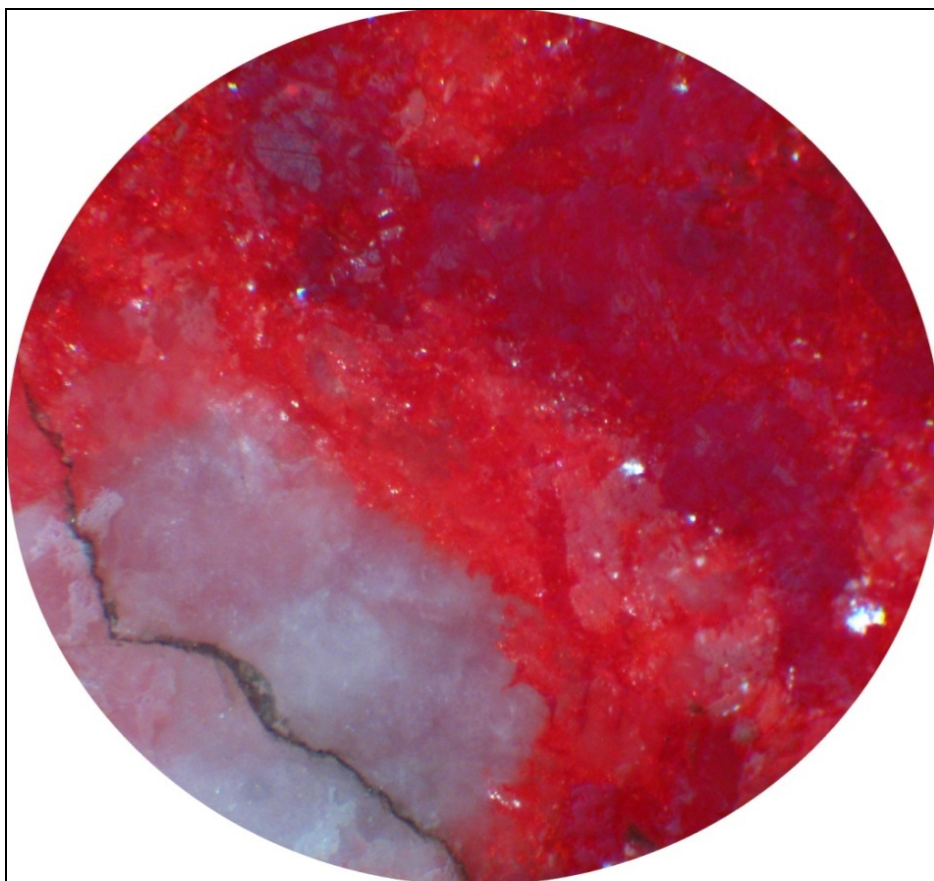


Рис. 5. Червоний внутрішній рефлекс у кіноварі.  
Світло відбите, ніколі +, збільш.  $108^{\times}$

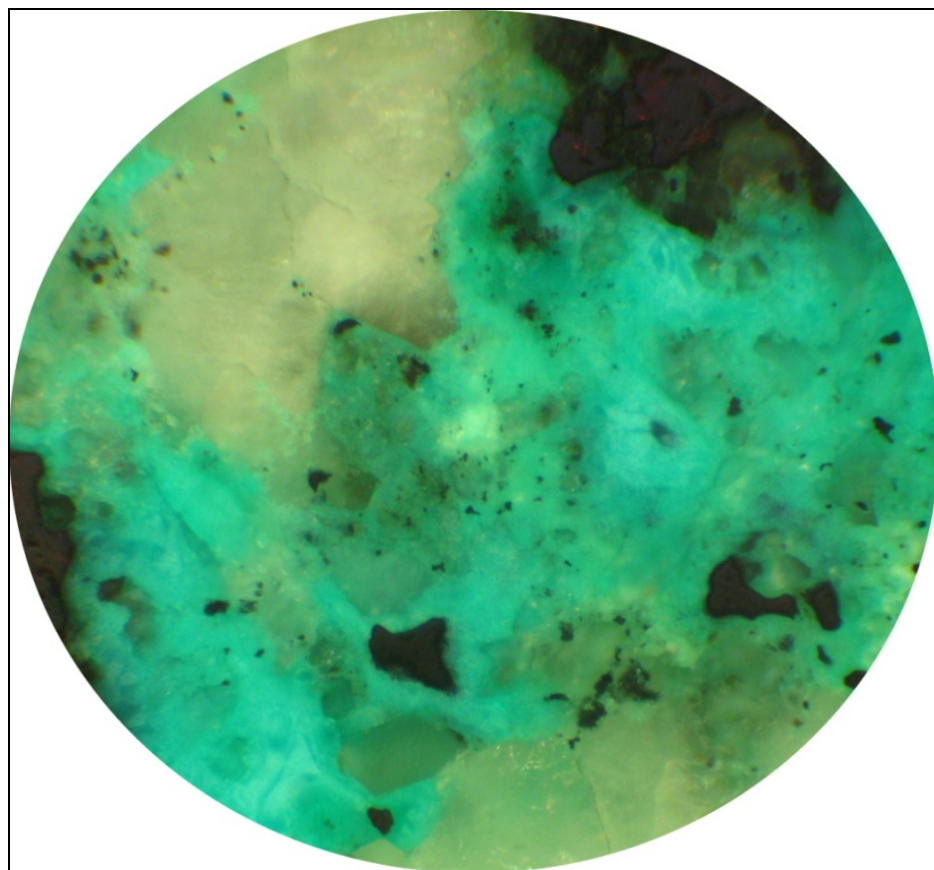


Рис. 6. Зелений внутрішній рефлекс у малахіту.  
Світло відбите, ніколі +, збільш.  $108^{\times}$

*Навчальне видання*

РУЗИНА МАРИНА ВІКТОРІВНА  
ЯЦИНА ДМИТРО ВАЛЕРІЙОВИЧ  
ЖИЛЬЦОВА ІРИНА ВІКТОРІВНА

**РУДНА МІКРОСКОПІЯ  
З ОСНОВАМИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МІНЕРАГРАФІЇ**

*Навчальний посібник*

Комп'ютерна верстка  
Яцина Дмитро Валерійович

Підписано до друку 24.04.2012. Формат 30 x 42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 13,3.  
Обл.-вид. арк. 17,7. Тираж 50 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК №.1842 від 11.06.2004 р.

49005, м. Дніпропетровськ, пр. Карла Маркса, 19.