Навчально-науковий інститут «Інститут геології»
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка
Кафедра мінералогії, геохімії та петрографії

ГЕНЕТИЧНА МІНЕРАЛОГІЯ

Посібник з лабораторного практикуму

Квасниця І.В.

Київ

2024

УДК 549

Генетична мінералогія: Посібник з лабораторного практикуму / Квасниця І.В. – Інтернет-ресурс Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2024.- 95 с.

Рецензент:

Митрохин О.В., доктор геол. наук, професор кафедри мінералогії, геохімії та петрографії ННІ «Інститут геології»

Автор:

Квасниця І.В. - кандидат геол. наук, доцент кафедри мінералогії, геохімії та петрографії ННІ «Інститут геології»

Рекомендовано до публікації вченою радою ННІ «Інститут геології» (протокол № ... від ...квітня 2024 року)

Запропоновано комплекс завдань до лабораторних робіт, спрямований на покращення якості оволодіння теоретичними знаннями і набуття студентами практичних навичок у вивченні дисципліни «Генетична мінералогія».

Для студентів з галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 103 Науки про Землю та споріднених спеціальностей ЗВО

© Квасниця І.В., 2024

ЗМІСТ

ВСТУП..... 4

Частина 1. Теоретичне підґрунття..... 6

Тема 1 Генезис мінеральних індивідів та агрегатів (механізми зародження, росту, зміни і руйнації)..... 6

Тема 2 Поверхні мінеральних індивідів та анатомія мінералів..... 48

Тема 3 Типоморфні ознаки мінералів..... 70

Частина 2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт... 81

Лабораторна робота 1. *Механізми зародження і росту мінеральних індивідів та агрегатів*..... 81

Лабораторна робота 2. *Механізми зміни і руйнації мінеральних індивідів та агрегатів*..... 82

Лабораторна робота 3. *Особливості поверхні мінералів та їх анатомія як типоморфні ознаки* 84

Лабораторна робота 4. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів в магматичних, пегматитових утвореннях, карбонатитах*..... 87

Лабораторна робота 5. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів в пневматолітово-гідротермальних, гідротермальних утвореннях, скарнах*..... 88

Лабораторна робота 6. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів в осадових утвореннях, утвореннях зони окиснення та вивітрювання*..... 89

Лабораторна робота 7. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів в метаморфічних утвореннях*..... 90

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... 92

ВСТУП

Навчальний курс «Генетична мінералогія» має на меті ознайомити студентів з основними поняттями генетичної мінералогії, розширити і поглибити знання студентів у галузі сучасного вчення про генезис мінералів, яке лежить в основі теорії процесів мінерало-породо-рудоутворення.

Завданням курсу «Генетична мінералогія» є формування у студентів чіткого уявлення про мінерали, особливості їх морфології, конституції, анатомії і фізичних властивостей, які відображають явища онтогенезу та геологічні процеси мінералоутворення.

Предметом вивчення курсу є онтогенія мінеральних індивідів і агрегатів (процеси зародження, росту, перетворення, руйнації), парагенезис і генетичні ознаки мінералів, передусім їх парагенетичні асоціації та типоморфізм.

Курс забезпечує знання про об’єкти і задачі генетичної мінералогії. Розглядаються сучасні підходи і теорії щодо зародження, росту, перетворення мінералів, фізико-хімічний механізм генезису та геологічні процеси мінералоутворення.

Окрім лекційних занять навчальним планом передбачено проведення лабораторних робіт, метою яких є закріплення матеріалу і набуття практичних навичок у визначенні особливостей морфології,

анатомії, хімічного складу і фізичних властивостей мінералів та використанні їх як типоморфних ознак для встановлення і моделювання умов генезису мінеральних індивідів та агрегатів.

Вихідними матеріалами для виконання лабораторних робіт є довідкові видання з діагностики (визначники мінералів) і типоморфних ознак мінералів та спеціалізовані навчальні колекції мінералів.

Методичні вказівки включають 3 теми і відповідні завдання, які розраховані на 14 годин лабораторних робіт (7 лабораторних)*:

1) Генезис мінеральних індивидів та агрегатів (механізми зародження, росту, зміни і руйнації)
2) Поверхні мінеральних індивідів та анатомія мінералів
3) Типоморфні ознаки мінералів

**В методичних вказівках окреслено такі ознаки типоморфізму і генезису мінеральних індивідів та агрегатів, які можна виявити при простому візуальному спостереженні без використання додаткового складного обладнання (оскільки це не передбачено у лабораторних роботах за навчальною робочою програмою дисципліни).*

ТЕОРЕТИЧНЕ ПІДҐРУНТТЯ

ТЕМА 1: **ГЕНЕЗИС МІНЕРАЛЬНИХ ІНДИВІДІВ ТА АГРЕГАТІВ**

(механізми зародження, росту, зміни і руйнації)

Уявлення про генезис (походження) мінералів змінювалися в процесі розвитку науки і до сьогодні немає єдиного загальноприйнятого визначення *(Станкеев, 1986).* Григор'єв Д.П. запропонував розглядати *генезис мінералів* як сукупність наступних явищ: безпосереднє утворення мінералів, спосіб їх утворення та геологічний (природний, фізичний) процес мінералоутворення *(Попов, 2011).*

Під *генезисом мінералів* розуміють процес утворення мінералів різними способами і у різних умовах в результаті певних геологічних процесів *(Станкеев, 1986).*

Утворення мінералів - це процеси зародження, росту і їх зміни в часі (онтогенія) *(Попов, 2011).*

Способи утворення мінералів - це фізико-хімічні процеси (механізми) їх утворення як фазові переходи в твердий, зазвичай кристалічний стан: вільна кристалізація з переохолоджених розплавів, пересичених розчинів, флюїдів, газів; перекристалізація в твердому стані; метасоматоз (заміщення); коагуляція золів і розкристалізація гелів; кристалізація за участю організмів тощо *(Станкеев, 1986).*

Онтогенія будь-якого мінерального індивіда чи агрегату – кристала, гірської породи, жили, масиву тощо – починається з акту зародження мінералів, про яке робимо висновки на підставі даних лабораторних дослідів або спеціальних досліджень природних об'єктів *(Павлишин та ін., 2017, 2021).*

В будь-якому кристалізаційному обсязі зародки мінералів можуть з'являтися одноразово або багаторазово *(Попов, 2011).* Історично прийнято розрізняти гомогенне і гетерогенне зародкоутворення.

Гомогенне (мимовільне) утворення зародків передбачає відсутність фазових меж в системі. У пересиченому середовищі атоми, іони, радикали, молекули, кластери починають з'єднуватися один з одним, будуючи первинні кристали-зародки *(Попов, 2011).* Самовільне зародження мінералів широкомасштабно здійснюється передусім у процесі кристалізації магми, яка досить добре вивчена в лабораторних умовах.

Гетерогенне зародження називається ще примусовим зародженням, оскільки здійснюється на поверхнях розділу фаз – на частинках сторонньої речовини, на поверхні рідин, на пухирцях газу тощо *(Павлишин та ін., 2017, 2021).* Вважається, що цьому зародженню сприяють, образно кажучи, спеціальні "агенти зародкоутворення", що

знижують високий бар'єр вільної енергії, властивий гомогенному середовищу.

Можна виділити наступні типи гетерогенного зародження кристалів*:*

1) на поверхні рідини;

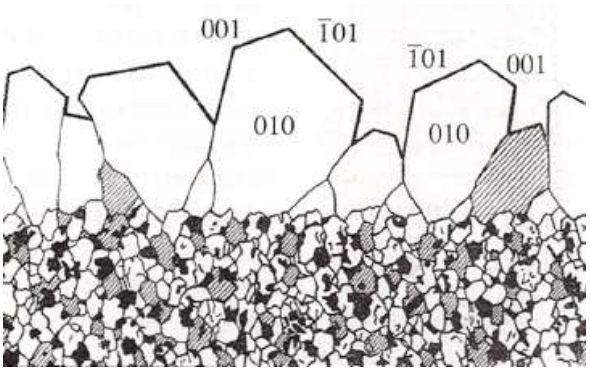
2) на затравці того ж мінералу;

3) на кристалах іншого мінералу без певного орієнтування;

4) на кристалах іншого мінералу із закономірним орієнтуванням (епітаксія і синтаксія) (рис. 1);

5) за участю організмів.

Широко відомі приклади зародження галіту, кальциту, льоду на поверхні водних розчинів *(Попов, 2011).* Нерідко вони утворюють плаваючі скелетні кристали ("човники"), які в одних випадках зростаються у вигляді суцільної кірки, в інших - опускаються на дно басейну.



а

б

в

г

д

Рис. 1. Гетерогенне зародження на кристалах іншого мінералу із закономірним орієнтуванням:

а) автоепітаксичний ріст кристалів польового шпату і нефеліну *(Григорьев, Жабин, 1975);*

б) епітаксичний ріст кварцу на пегматиті *Auvergne-Rhône-Alpes, France* ©*Matthias Diot* *https://www.mindat.org/photo-456058.html;*

в) автоепітаксичний ріст кристалів кварцу (скіпетроподібний кварц) *Little Falls, Herkimer County, New York, USA* ©*Terry Burtzlaff* *https://www.mindat.org/photo-422462.html;*

г) автоепітаксичний ріст кристалів кварцу (скіпетроподібний кварц) *Banská Štiavnica, Banská Bystrica Region, Slovakia* *https://www.mindat.org/photo-103368.html;*

д) епітаксичний ріст рутилу на гематиті *Novo Horizonte, Bahia, Brazil* ©*Norman King* *https://www.mindat.org/photo-715050.html*

Кристали ростуть своєю поверхнею. У рельєфі поверхні фіксується інформація про механізм росту кристалів. Весь об'єм кристала був колись його поверхнею, тому внутрішня будова кристала (анатомія) є основним джерелом інформації про його генезис. Напрацьовані теорії росту кристалів базуються і нині на досить усталених уявленнях про нормальний і тангенційний механізми росту, які, однак, мають різне тлумачення *(Павлишин та ін., 2017, 2021).* Взагалі у природі, як і в умовах експерименту, мінерали ростуть шарами – плоскими або спіральними.

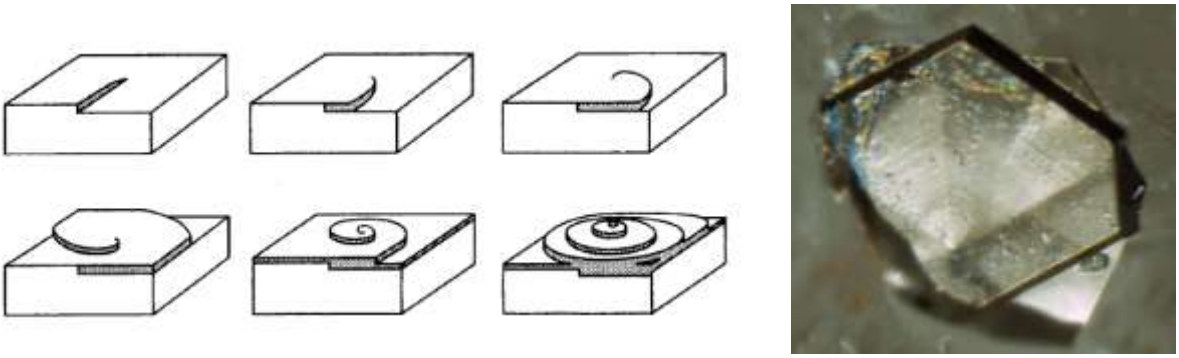
Ріст плоскими шарами. Плоскі шари росту можуть мати товщину від нановеличин до видимих неозброєним оком. Шари під час росту поширюються від ініціальних точок по поверхні кристала. Ініціальні точки можуть виникати на будь-яких дефектах кристалу або випадково осівших кластерах.

З погляду структурно-морфологічної концепції періодичних ланцюжків зв'язку (ПЛЗ) П.Хартмана і В.Пердока, плоскі шари росту найкраще проявлені на так званих *F*-гранях, або гладких гранях, тобто щільних гранях з найбільшим числом напрямків міцного зв'язку між структурними одиницями *(Павлишин та ін., 2017, 2021).* На них шари ростуть за описаним вище механізмом, відомим ще під назвою *тангенціальний ріст*, відповідно до вектора поширення шарів.

Нормальний механізм росту шарів реалізується згідно з термінологією ПЛЗ на *K*-гранях, тобто атомно-негладких (кутастих) гранях, вельми привабливих для живлячої речовини. На них приєднання атомів здійснюється таким чином, що товщина грані синхронно зростає в напрямку, перпендикулярному до її поверхні. Поверхню *S*-грані можна розглядати як поєднання гладких і кутастих ділянок, тому її ріст може здійснюватися за комбінованим – нормальним і тангенціальним – механізмом.

Ріст спіральними шарами на кристалах першим помітили Г.Г.Леммлейн (1945) і Е.Д.Дукова (1955). Ф.Франк (1949) обґрунтував механізм дислокаційного росту кристалів, згодом всебічно підтверджений експериментальними дослідами та дослідженнями мінералів. Спіралі росту виявлено на кристалах багатьох мінералів *(Павлишин та ін., 2017, 2021)* (рис. 2). Дислокаційний ріст кристалів тлумачиться, згідно з теорією Франка, на засадах розвитку гвинтових дислокацій. Останні, як відомо, є лінійними дефектами, мають неоднакову висоту (амплітуду) і певний напрямок (вектор Бюргерса) у різних місцях поверхні кристала, які закономірно змінюються за гвинтовим законом, створюючи можливість спірального росту за рахунок осадження атомів в енергетично вигідній позиції – у двогранному куті максимальної амплітуди дислокації).

Спіральний механізм росту являє собою східчасте підвищення, приречене безперервно розвиватися на противагу переривчастій східчастості плоских шарів росту. Спіралі бувають лівими і правими. Зазвичай зустрічається поєднання спірального зростання зі зростанням плоскими шарами *(Попов, 2011).*



а б

Рис. 2. Спіральний механізм росту:
а) схематичне зображення за *(Sunagawa, 2008);*
б) спіральний ріст на (001) грані графіту *Merelani Hills, Lelatema Mountains, Manyara Region, Tanzania* ©*John Rakovan* *https://zh.mindat.org/photo-693049.html*

Мікроблочний (мозаїчний) ріст. Кристал, може, відповідно до енергетичного балансу може будуватися неоднаковими, у тому числі достатньо великими молекулярними комплексами або навіть окремими мікрокристаликами – мікроблочний ріст. Яскравим наслідком мікроблочного росту є спотворення форми кристалів, імовірно, спричинене гравітацією *(Павлишин та ін., 2017, 2021)*. Гравітаційне осадження відносно великих блоків не може не відбитися на швидкості росту неоднаково орієнтованих граней кристалів і в решті-решт призводить до істотного відхилення від норми габітусу й обрису кристалів. Ще одним морфологічним наслідком мікроблочного

росту може бути розщеплення кристалів, якщо в процесі росту кут дезорієнтації осей блоків збільшується (рис. 3).

а

б

в

г

Рис. 3. Розщеплені кристали:
а) кварц *Laki Municipality, Plovdiv Province, Bulgaria* ©*Amir Akhavan* *https://www.mindat.org/photo-265181.html*;
б) кальцит *Minerva No. 1 Mine, Hardin County, Illinois, USA* © *Rob Lavinsky & irocks.com* *https://www.mindat.org/photo-644035.html*;
в) барит *Cache, Comanche County, Oklahoma, USA* ©*Michael G. Shaw* *https://www.mindat.org/photo-916260.html*;
г) барит *Denton Mine, Harris Creek Mining Sub-District, Hardin County, Illinois, USA* ©*B.Z.Kantor* *https://www.mindat.org/photo-471101.html*

Розщеплення зафіксовано для більшості поширених природних мінералів,але деякі з них завжди ростуть у вигляді розщеплених кристалів, інші схожі форми утворюють лише в специфічних умовах кристалізації *(Павлишин та ін., 2017).*

Розщеплення здійснюється в процесі росту мінералів у будь-якому середовищі – газовому, рідкому, твердому, а також будь-яким способом – вільною кристалізацією, розкристалізацією аморфної речовини, метасоматичним заміщенням. Розщеплення може бути спричинене ступенем нерівноважності процесу, швидкістю росту, гідродинамікою і режимом росту, інтенсивністю нерівномірного захоплення домішок.

У будь-якому розщепленому кристалі можна виділити нерозщеплене монокристалічне ядро або матрицю (при слабкому розщепленні) та дезорієнтовані стосовно ядра та один відносно одного блоки (субіндивиди)(рис. 4).

Інтенсивність розщеплення кристалів може бути різною. Зі збільшенням інтенсивності розщеплення геометричний відбір між субіндивідами різних порядків сприяє виникненню особливого виду розщеплення – радіального (див. рис. 3,в).

а

б

Рис. 4. Розщеплені кристали турмаліну:
а) *Palelni mine, Shan State, Myanmar* ©*Verrier.Frederic* *https://www.mindat.org/photo-476009.html*;
б) *Lục Yên District, Yên Bái Province, Vietnam* © *Rob Lavinsky & irocks.com* *https://www.mindat.org/photo-60738.html*

Формування подібних на блюдця кристалів-розеток (залізні троянди гематиту, пустельні троянди бариту, двосторонні розетки корунду, слюд і хлоритів) дуже характерне для кристалів із шаруватими структурними мотивами *(Бакуменко, 2002)* (рис. 5).

а

б

Рис. 5. Кристали-розетки (троянди):
а) гематит *Itamarandiba, Minas Gerais, Brazil* ©*Fabre Minerals* *https://www.mindat.org/photo-925733.html*;
б) барит *Cavnic Mine, Cavnic, Maramureș County, Romania* ©*Rob Lavinsky & MineralAuctions.com* *https://www.mindat.org/photo-1128236.html*

Кристаломорфний і грануломорфний ріст. Коли мінерали зароджуються і збільшують об'єм в умовах вільного росту або у відносно рихлому середовищі, то виникають *ідіоморфні*, обмежені плоскими гранями, *кристали (кристаломорфний ріст) (Павлишин та ін., 2017, 2021).* В умовах стисненого росту утворюються складної ("неправильної") форми *кристали-зерна*, які формують найпоширеніші в природі зернисті агрегати – гірські породи та руди.

Кристаломорфний ріст мінералів реалізується за таких умов:

1. Ріст окремих кристалів або їхніх зростків, у тому числі друз, здійснюється у вільному просторі – вакуумі, газі, розчині, розплаві (наприклад, поширені в магматичних породах *порфірові вкрапленими* (рис. 6).

Рис. 6. Порфірові вкрапленики рогової обманки в андезиті
(Dexter Perkins, 2020 https://opengeology.org/Mineralogy/4-crystals-and-crystallization)

2. Ріст шляхом заміщення простору, заповненого іншими мінералами, який призводить до утворення *метакристалів або бластокристалів* в умовах метаморфізму порід (рис. 7).

Рис. 7. Метакристали піриту
Ayu-Dag Mountain, Alushta, Crimea, Ukraine Alexander Tischenko https://www.mindat.org/photo-268538.html

Отже, в одній і тій самій породі можуть бути огранені кристали істотно різної генетичної природи – ранні магматичного походження порфірові вкрапленники і пізні метакристали. Кристали ростуть поодиноко або в процесі росту стикаються один з одним. Індивіди, які стикаються, можуть перебувати між собою в різних вікових стосунках).

Грануломорфний ріст індивідів досить чітко віддзеркалений в їхніх зовнішніх ознаках. Зерна-індивіди обмежені не плоскими, а "неправильними" складної форми поверхнями; загальна форма часто наближується до кулеподібної, тобто до ізометричного обрису зерен,

спричиненого появою на них схожих на грані поверхонь. Цей ріст реалізується в таких випадках:

1. Коли ранні кристали (*примакристали* за Д.П. Григор'євим) на стінці тріщини ростуть у бік вміщуючої породи.

2. Ріст індивідів у середовищі, в якому формуються мономінеральні та полімінеральні зернисті агрегати.

3. Грануломорфний ріст деяких метакристалів або окремих їхніх частин.

4. Ріст у складному агрегаті, зокрема в проміжках між мінералами, який завершується виникненням ксеноморфних форм.

При вивченні генезису зернистих агрегатів чи не найважливішим є з'ясування природи меж і форми їхніх зерен *(Жабин, 1979; Попов, 1984).*

Ріст метакристалів.

Метакристали – кристали, що виросли у твердому середовищі монокристалів або їхніх агрегатів, складених іншими мінералами.

Механізми утворення і прояву метакристалів у природі розмаїті. Хімічна відмінність між протомінералами (протокристалами) і метакристалами може бути різною, але вона мусить бути, оскільки є неодмінною умовою утворення метакристалів. У зв'язку з цим метакристали слід відрізняти від кристалів-вкрапленників, що теж

виникають у твердому середовищі, але внаслідок прояву ізохімічної перекристалізації дрібнозернистої маси того ж мінералу.

Є чимало ознак метакристалів, за якими їх можна відрізнити від кристалів іншого походження *(Григорьев, Жабин, 1975)*: наявність серед метакристалів псевдоморфоз (типоморфна ознака метасоматичного способу росту кристалів); релікти ("тіні") протомінералу або протоагрегату в метакристалі (інколи в метакристалах зберігається малюнок ("тінь") зонально-секторіальної будови протокристалів, їхні тріщинки спайності, окремості, двійникова структура тощо); всебічна огранка метакристалів тощо.

Серед мінералів рудних і нерудних утворень частими є метакристали піриту, альбіту та кварцу, рідше арсенопіриту, кобальтину, гематиту, магнетиту, карбонатів.

Ріст скелетних кристалів

Скелетні кристали – це монокристали, ріст яких здійснювався лише в білявершинних і біляреберних ділянках *(Павлишин та ін., 2017, 2021)* (рис. 8). Такі форми виникають в умовах істотного дефіциту (голоду) живлячої речовини, завдяки чому ріст кристала реалізовувався лише за рахунок збільшення об'єму найбільш вигідних в енергетичному сенсі ділянок. Такими ділянками передусім є вершини, ребра кристалів або сильно дефектні місця граней.

а

б

в

г

д

е

Рис. 8. Скелетні кристали:
а) кварц *Teufelsmühle, Bramberg am Wildkogel, Zell am See District, Salzburg, Austria ©Martin Gruell https://www.mindat.org/photo-348891.html;*
б) пірит *Middle Fork of the Snoqualmie River, Snoqualmie Mining District, King County, Washington, USA https://www.mindat.org/photo-567027.html;*
в) галіт *Searles Lake, San Bernardino County, California, USA ©Brian Kosnar - Mineral Classics https://www.mindat.org/photo-1126641.html;*

г) самородна мідь *Ray Mine, Scott Mountain, Pinal County, Arizona, USA* ©*Mineralogical Research Company* *https://www.mindat.org/photo-1151770.html*;
д) псевдоморфоза гематиту по скелетному кристалу магнетиту *Payún Matrú volcano, Malargüe Department, Mendoza Province, Argentina* ©*Oleg Lopatkin* *https://www.mindat.org/photo-502197.html*;
г) санідин *Pili Mine, Saucillo Municipality, Chihuahua, Mexico* *https://www.mindat.org/photo-746675.html*

Як зазначають *(Кульчицька та ін., 2018)*, до скелетних відносяться кристали, в яких через значну різницю швидкості росту речовина заповнює лише частину тіла багатогранника. Якщо такий кристал помістити у відповідні умови, то він може набути повногранної форми. Розрізняють внутрішні та зовнішні скелетні кристали.

Внутрішнім скелетним кристалам притаманний ріст від центра у напрямку до ребер або вершин (реберні і вершинні форми), наприклад, двомірні сніжинки, тривимірні лійкоподібні кристали галіту (рис. 9).

а б

Рис. 9. Внутрішні скелетні кристали:
а) лід *Belluno Province, Veneto, Italy* *https://www.mindat.org/photo-158077.html*;
б) галіт *Searles Lake, San Bernardino County, California, USA* ©*Rob Lavinsky & irocks.com* *https://www.mindat.org/photo-796640.html*.

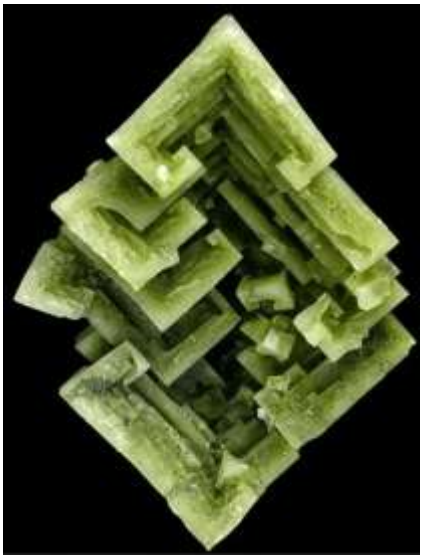
У зовнішніх скелетних кристалів сформованими є грані кристалу, проте не заповнена його внутрішня частина (гранні форми). До таких відносяться трубчасті і футляроподібні кристали (рис. 10). Футляроподібні кристали найчастіше зустрічаються серед утворень, що формувалися у в'язкому, відносно щільному середовищі, хоча є приклади їхньої кристалізації і в газовому середовищі.

Рис. 10. Зовнішні скелетні (футляроподібні) кристали кварцу *Hoya de Almáeigo, Las Palmas Province, Canary Islands, Spain ©Volker Betz https://www.mindat.org/photo-1350308.html.*

До скелетів також відносять і епітаксичні наростання одного мінералу на вершини або ребра кристалу іншого мінералу.

Тобто, в науковій літературі до скелетних кристалів часто відносять будь-які кристали з остаточно не сформованими гранями або порожнистою серединою – монокристальні реберні і вершинні форми, кристали-футляри, дендритоподібні скелети, а також інколи і зональні полімінеральні утворення, дендрити, пойкіліти, бласто- і

метакристали *(Кульчицька та ін., 2018)*. Скелетні утворення зустрічаються у породах різного генезису. Описано скелети алмазу, корунду, берилу, магнетиту, санідини, апатиту, олівіну, різних сульфідів тощо (рис. 11).



а

б

в

г

Рис. 11. Скелетні кристали:
а) галіту і б) сталактит частково побудований білими скелетними кристалами галіту *(Sieroszowice mine, Lubin area, SW Poland)* *https://www.geologyin.com/2017/06/extremely-wonderful-new-find-of.html*;
в) димчастого кварцу *(Minas Gerais, Brazil © AllMinerals/JohnBetts-FineMinerals http://www.johnbetts-fineminerals.com/jhbnyc/mineralmuseum/picshow.php?id=65403*;
г) алмазу *Argyle Diamond Mine, Wyndham-East Kimberley Shire, Western Australia, Australia © Tony Peterson https://www.mindat.org/photo-516798.html*.

Дендрит – гілкоподібне розгалужене утворення, яке виникає таким чином, що розщеплення вершин, ребер і граней призводить до відхилення від паралельної орієнтації елементів структури *(Павлишин та ін., 2017, 2021)*. Прикладами дендритів є льодяні візерунки на віконному склі, псиломелан на стінках тріщин гірських порід, «в'язані» форми міді в корі вивітрювання, виділення нашатирю в териконах тощо (рис. 12).

а б

Рис. 12. Дендрити:
а) псиломелану *Dolomitic marble quarry, Lower Silesian Voivodeship, Poland ©J.Kornaga https://www.mindat.org/photo-901549.html;*
б) міді *Mount Elliott Mine, Selwyn District, Cloncurry Shire, Queensland, Australia ©Quebul Fine Minerals https://www.mindat.org/photo-500057.html*

Ниткоподібні кристали (віскери, вуса) - кристали діаметром не більше 25 мкм і відношенням довжини до діаметра близько 10^3 *(Павлишин та ін., 2017, 2021).* У природі ниткоподібні кристали зустрічаються окремо або у вигляді агрегатів (рис. 13). У мінералогії

до них відносять кристали, розміри яких відповідають розмірам окремих «вусів», а також кристали, які ідентифікуються як волокнисті, ниткоподібні, волосоподібні, стрічкоподібні, тонкоголчасті тощо.

Близько 100 мінералів утворюють ниткоподібні кристали, найчастіше такі: азбести, брусит (немаліт), рутил, куприт (халькотрихіт), козаліт, мілерит, джемсоніт, буланжерит, людвигіт, ашарит, улексит, гідроборацит, гіпс (селеніт), селітра, силіманіт (фіброліт), егірин, турмалін, галуазит, палигорськіт, натроліт, морденіт.

Ниткоподібні кристали – дуже тонкі, добре огранені або іншої форми супервидовжені в одному напрямку індивіди. Поперечний перетин їх най частіше такий: кристалографічно правильний багатокутник, лінія (перетин стрічки), циліндричний, неправильний. Деякі з них зустрічаються у вигляді спірально гелікоїдально (закручені стрічкоподібні кристали) скручених кристалів.

Ниткоподібні кристали – це монокристали з досконалою структурою, що мають дуже низьку концентрацію дислокацій або їх немає. Бокові поверхні являють собою майже ідеально гладкі грані. Ці особливості та зумовлюють незвичайні їхні властивості, насамперед значну механічну міцність і хімічну інертність.

а

б

в

г

Рис. 13. Ниткоподібні кристали:

а) азбест *Poggio San Vittore asbestos mine, Balangero, Metropolitan City of Turin, Piedmont, Italy* © *Paolo Pastore https://www.mindat.org/photo-1116523.html;*

б)скручений кристал гіпсу *Naica, Saucillo Municipality, Chihuahua, Mexico* ©*Rob Lavinsky & irocks.com https://www.mindat.org/photo-69046.html;*

в) куприт (халькотрихіт) *Ray Mine, Scott Mountain, Pinal County, Arizona, USA* ©*Mariotti C. https://www.mindat.org/photo-1041895.html;*

г) натроліт *Little Plains Quarry, Blue Tier district, Break O'Day municipality, Tasmania, Australia https://www.mindat.org/photo-582718.html.*

Генерації мінералів. Різночасові виділення одного мінералу підрозділяються на генерації і зародження *(Григорьев, 1961; Григорьев, Жабин, 1975).*

Під *генерацією мінералу* зазвичай розуміється сукупність індивідів або їх частин, що утворилися в єдиній системі без ознак перерви в рості.

Зародження мінералів – повторне виникнення центрів кристалізації одного мінерального виду на фоні безперервної кристалізації його однієї генерації *(Павлишин та ін., 2017, 2021).*

Генерації мінералів – це різні зародження (покоління) одного і того ж мінералу, розділені перервами кристалізації (рис. 14).

Формування будь-яких мінеральних родовищ – тривалий процес, зазвичай декількастадійний. У них один і той же мінерал кристалізується декілька разів у різні стадії мінералоутворення, тобто утворює декілька генерацій, які адекватно віддзеркалюють зміну хімічного складу середовища мінералоутворення, його температуру, тиск.

а

б

в

д

Рис. 14. Генерації мінералів:

а) дві генерації призматичних кристалів кварцу *Trepča Stari Trg Mine, Trepča complex, Mitrovica, Mitrovica District, Kosovo* ©*Rob Lavinsky & MineralAuctions.com* *https://www.mindat.org/photo-866739.html*;

б) друга генерація з дрібних кристалів кварцу на гранях крупних кристалів першої генерації *Camp Bird Mine, Ouray County, Colorado, USA* ©*John H. Betts* *https://www.mindat.org/photo-9866.html*;

в) три генерації флюориту *Clara Mine, Freiburg Region, Baden-Württemberg, Germany* ©*Michael Förch* *https://www.mindat.org/photo-1148731.html*;

д) молочний «кактусовий» кварц *Nandan County, Hechi, Guangxi, China* ©*Safaa Yu* *https://www.mindat.org/photo-115141.html*

Критерії виділення генерацій. Морфологічні та інші ознаки призупинення росту кристалів напрацьовані, але немає загальновизнаних ознак (критеріїв) безперервної кристалізації мінералів *(Павлишин та ін., 2017, 2021).*

Виділення генерацій мінералів, що є предметом генераційного аналізу, тісно пов'язано передусім з проблемою синхронізації, тобто часової кореляції однойменних мінералів. Тобто необхідно за рядом ознак виявляти індивіди однієї генерації певного мінералу в будь-якому місці мінерального об'єкта, що досить непросто. Тому необхідно вишукувати та якомога ґрунтовніше досліджувати ознаки мінералів, які відповідно до визначення генерації свідчать про наявність перерви кристалізації. Ними, зокрема, можуть бути ознаки прояву таких онтогенічних явищ:

1. Розчинення мінералу з наступною регенерацією і доростанням.
2. Поява уламків як свідків тектонічної дії з наступною регенерацією, звичайно представленою іншим різновидом стосовно першої генерації.
3. Наростання на індивід інших мінералів без індукційних поверхонь або захоплення їх у вигляді включень.
4. Перетин мінералу прожилком того ж мінералу.

Онтогенічні спостереження і дані по синхронізації продуктів мінералоутворення дозволяють відповісти на питання, наскільки

мінливі ознаки даної генерації мінералу в різних ділянках досліджуваного природного об'єкта *(Попов, 2011).* Виділення генерацій в мінеральних об'єктах кардинально полегшує диференціацію процесу мінералоутворення на складові частини та виділення парагенетичних асоціацій мінералів *(Павлишин та ін., 2017, 2021).* Тому надійно та всебічно обґрунтовані генерації мінералів доцільно використовувати ще як елементи мінералогічного картування, а це, у свою чергу, сприятиме ефективному вирішенню суто практичних проблем – картуванню технологічних сортів руд, оцінці перспективності різних ділянок родовища тощо.

Зміни мінералів

Зміни мінералів у природі зазвичай є наслідком фізико-хімічної дії на них, але з різним співвідношенням фізичного (механічного), хімічного, біологічного чинників *(Павлишин та ін., 2017, 2021).*

Механічні деформації кристалів

Пластичні деформації. Вони супроводжуються зміною форми мінералів (під дією зовнішньої сили), але без порушення суцільності (цілісності) кристалів після припинення дії чинника деформації. Пластично деформуються монокристали та їхні зростки, наприклад, зернисті агрегати, а також аморфні тіла. Пластичність кристалів значною мірою визначається різницею між руйнуючою напругою і межею текучості, тому істотно залежить від природи взаємодії внутрішньої будови речовин і зовнішніх чинників деформації *(Юшкин, 1971).*

У мінералогії, звичайно, розглядаються три генетично інформативні явища пластичної деформації мінералів:

1) сковзання,

2) двійникування,

3) блокування.

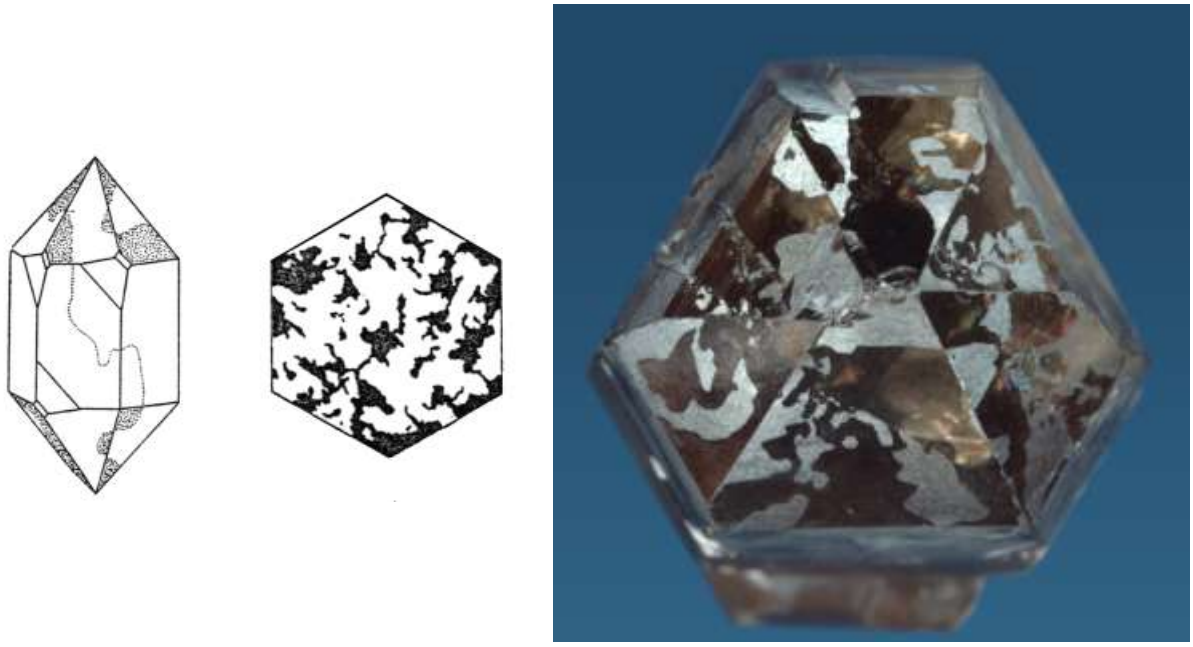
Сковзання являє собою паралельне переміщення шарів кристала, здійснюється під дією зовнішньої сили і не супроводжується

порушенням суцільності мінералів. Сковзання зафіксовано в значному числі мінералів. Візуально або за допомогою мікроскопу сковзання можна виявити на поверхні кристалів за особливою ознакою – проявом так званих штрихів (ліній) сковзання, які типоморфні для початкового етапу деформації.

Причиною деформації природних мінералів можуть бути не лише зовнішні сили, наприклад, чинники метаморфізму, але і сили, що виникають усередині мінеральних індивідів внаслідок прояву метаміктного розпаду, поліморфного перетворення, гідратації тощо.

Механічне двійникування. Це переміщення частин кристала під дією сили, яке не супроводжується порушенням суцільності мінералу та підпорядковується одному із законів двійникування (рис. 15). Інша категорія механічних (трансформаційних) двійників пов'язана з напругами, які створюються в процесі переходу однієї поліморфної модифікації в іншу.

За даними мінералогічних спостережень та експериментальних досліджень, механічне двійникування виявлено в значному числі мінералів, серед представників усіх класів.



а б в

Рис. 15. Схема розташування в кристалі трасформаційного дофінейського двійника кварцу, який виник унаслідок переходу:
а) загальний вигляд і б) розріз ⊥ [0001] *(Павлишин та ін., 2017)*,
в) кристал кварцу *Erongo Mountains, Karibib Constituency, Erongo Region, Namibia ©Amir C. Akhavan https://www.mindat.org/photo-318783.html*

Блокування - особливий, дуже поширений в природі тип пластичної деформації мінералів (за Д.П.Григор'євим), який характеризується такими ознаками:

а) внаслідок деформації в кристалі виникають блоки, повернуті інколи на десятки градусів як стосовно вихідного кристала, так і один відносно одного (суцільність тіла при цьому зберігається);

б) межі між блоками взагалі не є кристалографічними, тобто не можуть бути, за рідкісними винятками, охарактеризовані за допомогою раціональних індексів;

в) блоки розмежовані дислокаційними ансамблями і мають досконалу кристалічну структуру;

г) розмір блоків різний – від мікроскопічних і субмікроскопічних (видно в оптичному або електронному мікроскопі, виявити можна також за допомогою рентгенівського дослідження) до макроскопічних (вимірюється міліметрами, можливо, і сантиметрами);

д) розмаїта також форма блоків – пластинчаста, клиноподібна, ізометрична, проміжна між ними.

Крихкі деформації мінералів. Коли напруга, що виникає в тілі, перевищує межу міцності, то здійснюється його крихка деформація. Остання ділить індивіди, агрегати на окремі частини. Сили крихкої деформації можуть бути зовнішні (наприклад, тектонічна дія на мінерали, яка призводить до утворення тектонічної брекчії) або внутрішні (напр., виникнення стільникової тріщинуватості в кристалах кварцу, які зазнали $\beta \rightarrow \alpha$ поліморфного переходу). Розрив і сколювання – два елементарні типи крихких деформацій, комбінація яких створює розмаїття їхнього прояву в природі.

Розрив. Ця деформація спричинює поділ індивіда (агрегату) на окремі частини шляхом розсовування їх. Звичайно, у мінеральних кристалах розрив здійснюється вздовж слабких і найслабкіших

хімічних зв'язків у структурі – площин спайності, сковзання, зламу, окремості, двійникових площин тощо. В агрегатах він реалізується здебільшого по плоских та інших дефектах, наприклад, стику індивідів.

Сколювання - це розділення тіла на частини шляхом переміщення їх уздовж поверхні сколювання під дією сили, скерованої паралельно поверхні сколювання. Сколювання кристалів проявлено в природі, імовірно, рідше, ніж розрив, оскільки реалізується лише внаслідок дії зовнішньої сили.

Тріщини розриву і сколювання залишаються зяючими або "заліковуються" пізнішим кварцом, іншими мінералами. У будь-якому випадку вони є тим місцем, де часто започатковується інтенсивне хімічне перетворення мінералів або метасоматичне заміщення їх.

Регенерація кристалів. Під *регенерацією* в мінералогії розуміється процес нового росту кристалів на поверхнях їх відколу, розчинення або оплавлення *(Попов, 2011)* (рис. 16). Навряд чи слід відносити до регенерації тільки відновлення плоскогранності, пряморебернoсті і гостровершинності, оскільки кристали можуть рости спочатку округлими, пір'ястими або скелетними.

Поверхні регенерації на кристалах можуть бути порівняно простими або складними. Це залежить від орієнтування регенераційної поверхні на кристалі, її величини, зміни умов кристалізації в часі, стадії регенерації.

Рис. 16. Регенерація кристалу кварцу
Arbaz, Challand-Saint-Anselme, Aosta Valley, Italy ©*Simone and Giorgio Boscolo collection*
https://www.mindat.org/photo-1251334.html

В анатомічній картині регенераційної тіла зазвичай встановлюється «багатоголовий» ріст або трансляційні вершинні і реберні форми, які загалом характерні для зміни форми при рості кристалів.

Регенерація – це окремий випадок зміни форми кристалів або уламків (реліктів) кристалів мінералів в процесі росту. Уламки кристалів, що виникають при дробленні в процесі тектонічних порушень, часто є зародками більш пізніх індивідів. Регенерація і ріст

осколків кристалів різної форми і величини веде до різноманітності асиметрії форм кристалів, в тому числі до утворення скручених індивідів.

Зміна мінералів під дією ударного метаморфізму. Наслідки явищ, пов'язаних з ударним метаморфізмом, – швидке стискування до 10^5 МПа і більше з одночасним адіабатичним прогрівом до високої температури – зафіксовано в гірських породах земних метеоритних кратерів (астроблемах), у космічних тілах та у породах, що зазнали дії підземних ядерних вибухів.

Основними чинниками перетворення мінералів при ударному метаморфізмі є імпульсний тиск, висока ударна і залишкова температура та так званий профіль ударної хвилі, тобто тривалість дії імпульсу. У процесі ударного метаморфізму здійснюється розмаїте перетворення мінералів – від появи тріщин, прояву пластичних деформацій, виникнення планарних елементів і так званих діаплектових кристалів до перетворення мінералів у діаплектове скло, утворення параморфоз високобаричних модифікацій по мінералах нижчих тисків, синтезу високобаричних мінералів і повного розплавлення всіх мінералів *(Вальтер и др., 1992).*

Фізико-хімічна зміна мінералів.

Поліморфні (політипні) переходи. Утворення та існування конкретних поліморфних модифікацій визначаються температурою, тиском, складом мінералоутворювального середовища, конституцією кристалів, механічними деформаціями. Для мінералога-генетика поліморфні переходи цікаві та інформативні, коли є ознаки, наприклад, морфологічні, що перетворення дійсно мало місце (звичайно, за наявності модифікації стійкої нижче лінії переходу на фізико-хімічній діаграмі). Наприклад, перехід високотемпературного β-кварцу в низькотемпературний α-кварц супроводжується, як уже зазначалося, зменшенням об'єму та утворенням тріщин, які в тілі α-кварцу створюють малюнок стільників. Тому так званий стільниковий кварц – ознака $\beta \rightarrow \alpha$ поліморфного переходу й первісної кристалізації кварцу вище точки переходу (≥ 573°C).

Розпад твердих розчинів. Це руйнівний твердофазовий процес, який здійснюється внаслідок звуження меж ізоморфної змішуваності компонентів при зниженні температури (інколи тиску) та завершується утворенням на місці гомогенного твердого розчину двох або більше фаз (мінералів). Розпад твердого розчину приводить до зменшення вільної енергії системи на величину надлишкової

енергії змішування. Явище розпаду твердих розчинів виявлено і вивчено в значному числі мінералів – польових шпатах, піроксенах, амфіболах, слюдах, оксидах, сульфідах, вольфраматах (рис. 17).

а

б

в

г

Рис. 17. Розпад твердих розчинів:
а) пертити у польовому шпаті *MacDonald Mine, Hastings County, Ontario, Canada ©Derek Nicol https://www.mindat.org/photo-1279047.html;*
б) пертити у польовому шпаті *Fort Point, Fairhaven, Bristol County, Massachusetts, USA ©Peter Cristofono https://www.mindat.org/photo-318985.html;*
в) ламелі геденбергіту у діопсиді *Byram Crushed Stone Quarry, Byram Township, Sussex County, New Jersey, USA ©Jeff Scovil https://www.mindat.org/photo-1097724.html;*
д) ламелі халькозину у борніті *Butte Mining District, Silver Bow County, Montana, USA © Ben Schumer https://www.mindat.org/photo-692060.html*

Радіогенні зміни, метаміктизація мінералів. Перетворення під дією випромінювання радіоактивних елементів за своєю фізико-хімічною сутністю різні: змінюється валентний стан іонів, хімічний склад, оптичні властивості і забарвлення мінералів, порушуються хімічні зв'язки між атомами, розупорядковується розташування атомів, частково або цілком руйнується кристалічна структура мінералів (метаміктний розпад) тощо.

Поширене в природі мікроявище – зміна мінералів навколо дрібних включень радіоактивних мінералів або мінералів з домішками радіоактивних елементів (уранініту-UO_2, торита-$Th[SiO_4]$, торіаніту-ThO_2, отеніту-$Ca(UO_2)[PO_4]_2 \cdot nH_2O$, циркону-$Zr[SiO_4]$, монациту-$(Ce,La...)[PO_4]$, ксенотиму-$Y[PO_4]$ тощо) – увійшло в мінералогію під назвами *плеохроїчний дворик, плеохроїчний ореол, радіогенний ореол, гало*. Їхню радіогенну природу відкрито О. Мюгге і Дж. Джолі ще в 1907 р.

Радіогенні ореоли мають концентрично-зональну будову, яка фіксується різною інтенсивністю звичайно коричневого забарвлення, мікронні розміри і зустрічаються як у забарвлених (біотитах, турмалінах, амфіболах, хлоритах тощо), так і в безбарвних мінералах (кварці, галіті, мусковіті тощо) (рис. 18). Ореоли допомагають отримати відомості про хід радіоактивного процесу, інколи визначати

радіоактивні елементи (ізотопи), фактично являють собою модель взаємодії радіоактивних променів і мінеральної речовини.

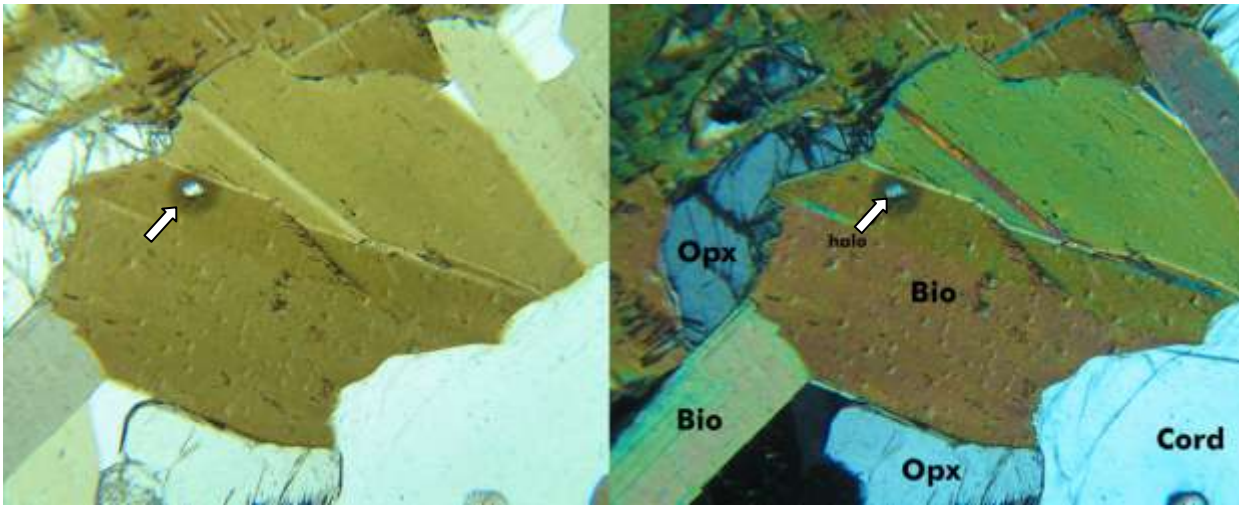


Рис. 18. Радіогенний ореол у біотиті (Opx – ортопіроксен, Bio – біотит, Cord – кордієрит) *http://sites.und.edu/dexter.perkins/opticalmin/halos.htm*

Виразнішою зміною, спричиненою радіоактивним випромінюванням, є забарвлення прозорих мінералів у макромасштабі – так зване *радіаційне забарвлення* чорного кварцу, зеленого флюориту, синього галіту тощо (рис. 19) *(Платонов, 1976).*

а б

Рис. 19. Радіаційне забарвлення а) галіту *PCA Mine, Eddy County, New Mexico, USA ©www.excaliburmineral.com https://www.mindat.org/photo-1156462.html* і б) димчатого кварцу *Smokey Bear Quartz Claims, New Mexico, USA ©Rob Lavinsky & irocks.com https://www.mindat.org/photo-146045.html*

Розчинення мінералів. Розчинення мінералів – поширене в природі явище, яке можна розглядати як процес, зворотний росту. Традиційно розчинення кристалів розглядається двоаспектно – макро- і мікроморфологічно, – оскільки розчинення макрокристала здійснюється інакше, ніж кінетичні процеси, що призводять до утворення *фігур розчинення* на дислокаціях *(Хейман, 1979).*

На загал перебіг розчинення і пов'язана з нею остаточна форма розчинення кристалів визначаються комплексною дією (взаємодією) зовнішніх (хімічний склад розчинника, ступінь його пересичення, наявність особливих активних домішок, температура, тиск) і внутрішніх (структура та дефектність мінералів) чинників (рис. 20, 21). Масштаби прояву розчинення мінералів у природі різні. За даними наших спостережень, найбільше воно залежить від хімічного складу та умов взаємодії розчинника з мінералами.

а

б

Рис. 20. Кристали кварцу, що зазнали природного розчинення:
а) *Hamilton Hill Mine, Jessieville, Garland County, Arkansas, USA* ©*Arkansas Minerals LLC* *https://www.mindat.org/photo-1313098.html*;
б) *Tormiq Valley, Haramosh Mts., Roundu District, Gilgit-Baltistan, Pakistan* ©*Dan Weinrich* *https://www.mindat.org/photo-131773.html*

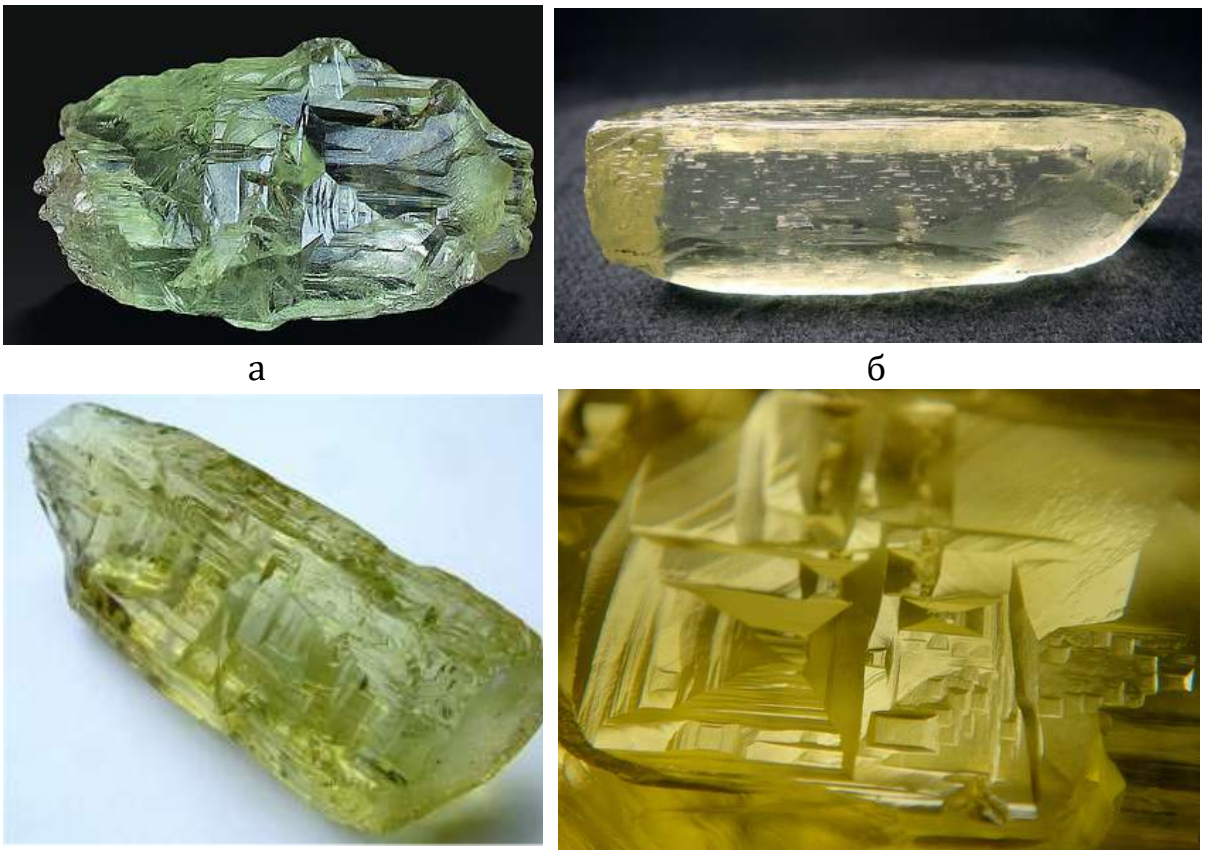


Рис. 21. Кристали берилів (геліодорів), що зазнали природного розчинення:
а) *Khoroshiv Raion, Zhytomyr Oblast, Ukraine https://www.mindat.org/photo-1135415.html;*
б) Khoroshiv Raion, Zhytomyr Oblast, Ukraine ©Oleg Lopatkin https://www.mindat.org/photo-202592.html;
в) Khoroshiv Raion, Zhytomyr Oblast, Ukraine ©Kuno Stoeckli https://www.mindat.org/photo-240891.html;
г) візерунки розчинення на поверхні природно розчиненого берилу (геліодор) *Khoroshiv Raion, Zhytomyr Oblast, Ukraine ©Oleg Lopatkin https://www.mindat.org/photo-931637.html.*

Псевдоморфози і псевдоморфізація

Під *псевдоморфозою* нині розуміють не лише мінерал-кристал, який виник унаслідок зміни хімічного складу чи кристалічної структури (або того й другого) протомінералу, але і зерна-індивіди та їхні агрегати будь-якої форми, які замістилися іншими мінералами, а також скам'янілі рештки рослин і тварин геологічного минулого Землі (рис. 22, 23).

Псевдоморфізація – це метасоматичний процес, який в онтогенії мінералів розглядається двояко:

а) як процес росту метакристалів чи в ширшому значенні – як метасоматоз;

б) як фізико-хімічна зміна протомінералів.

Рис. 22. Фосилітизований корал – псевдоморфоза чорного агату по коралу *Tampa Bay, Tampa, Hillsborough County, Florida, USA* ©*Rob Lavinsky & irocks.com* *https://www.mindat.org/photo-121756.html*

а

б

в

г

д

е

Рис. 23. Псевдоморфози:

а) кварцу по ангідриту *Iraí, Rio Grande do Sul, Brazil* ©*A&M* *https://www.mindat.org/photo-313160.html*

б) кварцу по флюориту *Wheal Mary Ann, Menheniot, Cornwall, England, UK* ©*Norman King* *https://www.mindat.org/photo-361967.html*

в) гематиту по магнетиту *Payún Matrú volcano, Mendoza Province, Argentina* ©*John H. Betts* *https://www.mindat.org/photo-3967.html*

г) малахіту по бариту *Shangulowé Mine, Kambove, Haut-Katanga, DR Congo* ©*John Sobolewski* *https://www.mindat.org/photo-43207.html*

д) опалу по шишці Pinaceae (Pine family) *Virgin Valley, Humboldt County, Nevada, USA* ©*Karl Volkman* *https://www.mindat.org/photo-140058.html*

е) опалу по *мушлі* *Coober Pedy, Central North, South Australia, Australia* ©*Rob Lavinsky & Mineral Auctions.com* *https://www.mindat.org/photo-1294758.html*

Перекристалізація. *Перекристалізацією* називають зміну форми, розміру, анатомії мінеральних індивідів без істотного привносу-виносу речовини і без зміни фазового складу системи (рис. 24).

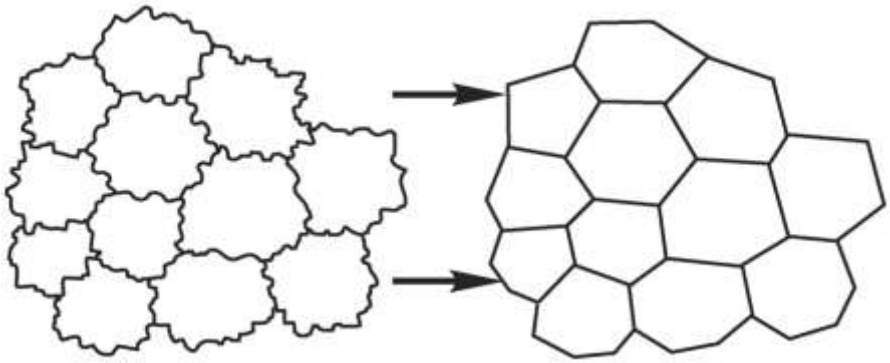


Рис. 24. Перекристалізація призводить до зміни нерівних меж зерен до більш гладких *(Григорьев, 1975)*

Звідси логічно випливає, що перекристалізація окремо взятого індивіда – це ріст одних частин індивіда за рахунок речовини його інших частин і без істотного привнесення речовини (рис. 25).

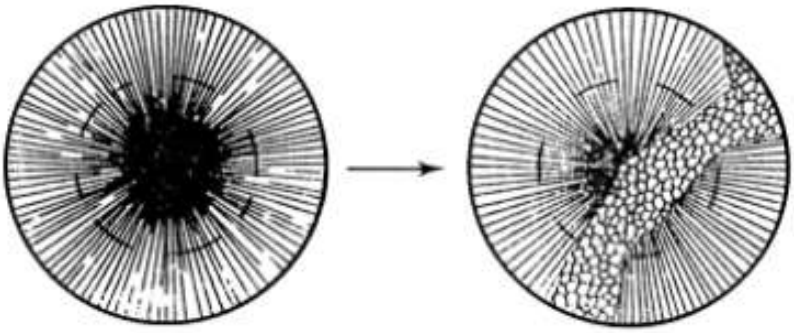


Рис. 25.Схема перекристалізації сферолітів, спостережена на природних об'єктах. *(Попов, 2011)*

Як споріднений перекристалізації термін розглядається *розкристалізація* – утворення мінералів за рахунок аморфної речовини, мінералоїдів. Прикладами розкристалізації є такі переходи: вулканічне скло → кристобаліт (рис. 26); опал → халцедон → кварц; метаміктний стан → кристалічний стан.

Рис. 26.Обсидіан з кристобалітом
Catamarca Province, Argentina ©TRG Collection https://www.mindat.org/photo-1006225.html

---

В даній темі окреслено такі ознаки змін і руйнації мінералів, які можна виявити при простому візуальному спостереженні без використання додаткового обладнання (оскільки це не передбачено у лабораторній роботі за навчальною робочою

ТЕМА 2: **ПОВЕРХНІ МІНЕРАЛЬНИХ ІНДИВІДІВ ТА АНАТОМІЯ МІНЕРАЛІВ**

Поверхні мінеральних індивидів. Форма кристалів (зерен) мінералів - це форма поверхонь, що відокремлюють кристал від навколишнього простору *(Попов, 2011)*. При вивченні поверхонь кристалів можна отримати інформацію про походження кристала, його «життя», передбачити можливу поведінку кристалів в збагачувальному процесі тощо.

У мінералогічної практиці дуже важливо точно визначити генетичний тип поверхні кристала (зерна) *(Попов, 2011)*. Згідно з даними мінералогів і кристалографів *(Григорьев, 1961; Фекличев, 1966, 1970; Шафрановський, 1957, 1961; Попов, 1984; та ін.)* поверхні зерен мінералів найчастіше мають складні поверхні, серед яких виділяються за їхнім походженням (генезисом):

- ✓ ідіоморфна (власна);
- ✓ ксеноморфна (чужа, відбиткова);
- ✓ індукційна (компромісна);
- ✓ грануломорфна (поліедрична);
- ✓ рекристаломорфна (поверхні рекристалізації);
- ✓ реоморфна (пластичної деформації);
- ✓ поверхні розчинення;
- ✓ поверхні дроблення;

- ✓ поверхні окатування;
- ✓ поверхні оплавлення.

Ідіоморфна - це власна форма кристалів з ростовою поверхнею (гранні форми, скелети, антискелети, багатоголові регенераційні форми та ін.).

«Ідіоморфні» не означає «плоскограні». Ідентифікувати ідіоморфну (як і будь-яку іншу) поверхню можна тільки при об'ємних дослідженнях, спеціально розглядаючи ростову скульптуру індивіда. Не можна говорити про ідіоморфізм або «відносний» ідіоморфізм кристалів за плоскими перетинами індивідів, особливо без залучення їх анатомічної картини. Ідіоморфною може виявитися і поверхня сильнорозчиненого кристала з подальшою слабкою регенерацією. Дуже складну і звивисту межу можуть мати в перерізі блокові, багатоголові, розщеплені і скелетні кристали. Однак це ще не ознака ксеноморфізму, треба препарувати і вивчати поверхню об'ємно.

Ксеноморфна - поверхня відбитку чужої форми. Виникає тільки при послідовному утворенні, наприклад захопленні (обростанні) кварцом раніше виросло кристала (уламка кристала) піриту або при рості метакристалу піриту в кварці, в обох випадках кварц на контакті з піритом має ксеноморфну (чужу) поверхню, в той час як у піриту поверхня ідіоморфна або сколова (в разі обростання уламка).

Ксеноморфна поверхня зазвичай не буває точним антисиметричним зліпком чужої форми. Антисиметричність існує лише на «макрорівні». Термін «ксеноморфний» у багатьох геологічних і петрографічних словниках вказується як синонім терміну «алотріаморфний».

Індукційна - компромісна поверхню, що виникла в процесі боротьби за простір двох або більше тіл, що збільшуються в об'ємі. Закон кристалографичної індукції кристалів мінералів сформулював А.Є.Ферсман (1922). Деталі будови індукційних поверхонь на кристалах неодноразово описані *(Григорьев, 1961; Жабин, 1979; Шафрановский, 1961; та ін.).*

Грануломорфна - поверхня некристалографічних поліедрів перекристалізації.

Рекристаломорфна - поверхня індивідів рекристалізації, що виникає в процесі росту досконалих індивідів, що знову зароджуються в деформованій матриці тієї ж речовини. Необхідно відзначити, що цей клас поверхонь майже не вивчений.

Реоморфна - поверхня мінеральних індивідів, що зазнали пластичної деформації.

Поверхні розчинення рідинами і газами досить часті. Загальна їх особливість - «зрізання» ростової анатомічної картини (видно в перерізі індивідів), утворення конусної макроскульптури поверхонь *(Шафрановський, 1968)*, утворення каналів розчинення уздовж гвинтових дислокацій і меж блоків тощо.

Поверхні дроблення (кластоморфні) виникають при дробленні мінеральних тіл. Найчастіше це уламки кристалів в вулканогенних, вулканогенно-осадових, осадових і тектонічних утвореннях. Уламки майже завжди в певній мірі піддаються механічному окатуванню. Ідентифікація цього класу поверхонь дуже важлива, особливо для розрізнення округлих поверхонь, що виникають різними шляхами: прямої кристалізації у вигляді антискелетів, розчиненням, реологічним «розчиненням» і окатуванням.

Поверхні оплавлення можуть виникнути внаслідок різних причин, що викликають підвищення температури: механічного руху, ударного метаморфізму, термального метаморфізму, газового розігріву тощо. Характерні округлість форм, поява кратерів розриву бульбашок газу, тріщин розриву в зв'язку зі збільшенням об’єму, аморфізація поверхневої частини кристала та інші явища.

Скульптура ідіоморфних поверхонь кристалів

Згідно *(Фекличев, 1970)* всі кристалографічні форми можна розділити на дві групи,:

1) правильні кристалографічні форми, тобто прості форми, їхні рівногранні симетричні комбінації;

2) неправильні кристаломорфологічні форми, які виражені у відмінному характері розподілу і взаємовідносин правильних форм.

Прості форми та їхні комбінації несуть певну генетичну інформацію, наприклад, з їх допомогою іноді добре розрізняються форми росту і форми розчинення, робляться важливі висновки про хімізм середовища кристалізації чи розчинення.

Неправильні кристалографічні форми розкривають іншу сторону генетичного процесу - його механізм. Про цю сторону генетичного процесу говорять ті складні форми кристалу, які виникають при певному розподілі простих форм кристала за певних їх взаємовідносинах між собою та з дефектами в будові реального кристалу, домішками, включеннями тощо.

Неправильні кристалографічні форми (бурульки, каверни, скелети, віциналі - типи мікрорельєфу) містять зазвичай більшу генетичну інформацію, ніж прості форми та їх комбінації, для висновків щодо узагальнених генетичних типів (наприклад, щодо способу кристалізації мінералу у породі).

Отже, власна поверхня мінеральних тіл, що утворюється в процесі росту, несе інформацію про механізми кристалізації, деталі процесу росту, навколишнє середовище *(Попов, 2011).* У процесі росту кристалів в природних умовах майже безперервно щось змінюється. Кристал чітко реагує на такі зміни в середовищі динамічною поведінкою своєї поверхні, що відображається в динаміці поверхневої скульптури.

Елементи мікрорельєфу. До елементів мікрорельєфу поверхні кристалу відносяться *(Фекличев, 1970)* гіпсометрично вищі за саму грань ускладнення (фігури росту, акцесорії) і гіпсометрично нижчі (фігури розчинення поверхні), а також складні комплексні скульптури (сформовані більшою кількості мікрограней). Поверхні реальних кристалів не є гладкими, вкриті значною кількістю плоских і криволінійних мікрограней.

В.Г.Фекличев виділив близько 50 різновидів скульптур, які за формою та умовами утворення згрупував так *(Павлишин та ін., 2017, 2021):*

1) на кристалах, що росли вільно;

2) на кристалах, утворених у порожнинах в умовах стисненого росту;

3) на сумісно утворених кристалах з порожнин;

4) на кристалах зі щільних порід;

5) на кристалах з пухких порід;

6) на кристалах, що зазнали розчинення.

Загалом мікрорельєф поверхні грані кристалу віддзеркалює межу взаємодії структури кристалу і середовища мінералоутворення, а симетрія простих форм мікрорельєфу певного походження - результат взаємодії симетрій і кристалічної структури, і середовища.

Віциналь - сплощена пірамідальна фігура росту з гранями-скатами, часто криволінійними, зі складними, нерідко ірраціональними, символами. Віциналь може бути симетричною, асиметричною, простою і спіральною. Гладкі скати віциналей при великих збільшеннях виявляють сходинкову будову.

Елементарна фігура росту (зародок нового шару) - невелике одношарове піднесення на поверхні грані, що має симетричну форму. Фігури росту утворюються в місці генерації нового шару у вигляді плоскогранних або округлених багатогранників (горбків) – пірамідок.

Штрихи-виступи і штрихи-поглиблення - це вузькі виступи і поглиблення відносно постійного перетину, що поширюються на значну відстань по поверхні грані в певному, найчастіше взаємно паралельному, напрямку *(Фекличев, 1966)*. Це дуже поширені форми на сильно анізотропних кристалах. Так звана комбінаційна штриховка на кристалах піриту, кварцу, берилу, турмаліну і на інших кристалах

характеризується чергуванням паралельних штрихів-виступів і штрихів-заглиблень (рис. 27, 28).

Загалом *штриховка* (штрихуватість) має різну орієнтацію на кристалах і неоднакове походження *(Павлишин та ін., 2017, 2021).* На індивідах одних мінералів штрихи паралельні, на інших – перетинаються під певним, сталим для конкретного мінералу, кутом (рис. 27).

Так, кристалам кварцу притаманна поперечна штриховка (штрихи на гранях призми орієнтовані перпендикулярно до видовження їх уздовж L_3), кристалам турмаліну та берилу – вертикальна (повздовжня) (на гранях призми вона орієнтована паралельно L_3), на кристалах сфалериту, халькопіриту, корунду – штрихи орієнтовано в декількох напрямках на одній грані.

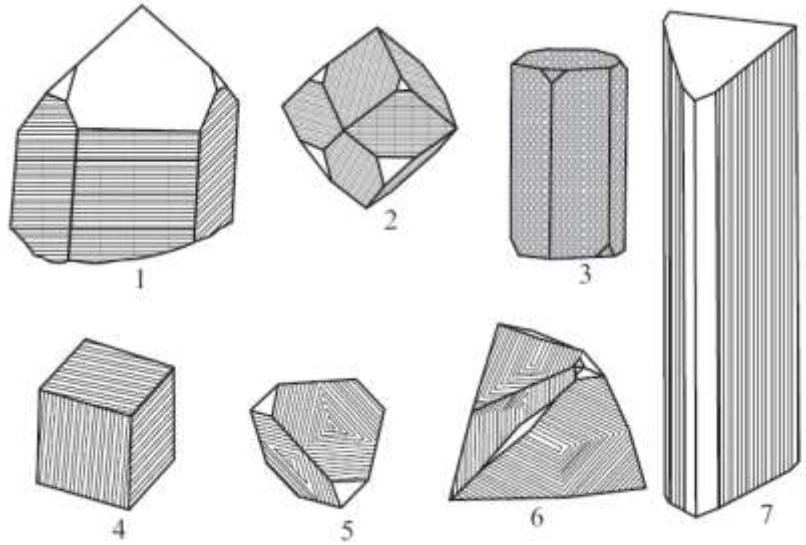


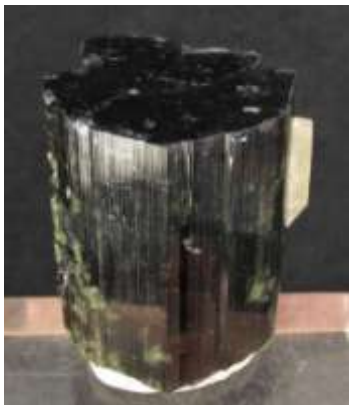
Рис. 27. Типи штрихуватості на кристалах. За Є.К.Лазаренком. 1 – кварц-SiO_2; 2 – алмаз-C; 3 – корунд-Al_2O_3; 4 – пірит-$Fe[S_2]$; 5 і 6 – халькопірит-$CuFeS_2$; 7 – льолінгіт-$Fe[As_2]$ *(Павлишин та ін., 2017, 2021).*

Штриховка на гранях кристалів може виникнути й іншим шляхом *(Павлишин та ін., 2017, 2021)*.. Наприклад, через незавершений рісту шарів, коли кожний новий шар генерувався (у зв'язку зі зміною концентрації середовища мінералоутворення) з деяким запізненням щодо раннього нижнього шару. Імовірно, таку природу (шари росту) має штриховка на кристалах сфалериту, алмазу, халькопіриту тощо. Штриховка граней виникає і як наслідок прояву механічних деформацій (штрихи ковзання) у післякристалізаційний період. Її можна побачити на гранях кристалів молібденіту, антимоніту, галеніту. Крім того, штриховка може мати індукційну та двійникову природу (вона особливо добре проявлена на полісинтетично здвійникованих кристалах польових шпатів), проявитися як слід спайності, шрам на дзеркалі ковзання і відбиток штриховки сусідів.

а

б

в



г

д

е

Рис. 28. Штриховка на кристалах:
а) кварцу *Joaquim Felício, Minas Gerais, Brazil* ©*Amir Akhavan* *https://www.mindat.org/photo-786972.html*;
б) кварцу *Spittal an der Drau District, Carinthia, Austria* ©*Saphira Minerals e.U.* *https://www.mindat.org/photo-1028750.html*;
в) турмаліну *Pegmatite occurrence, Lower Austria, Austria* ©*AC* *https://www.mindat.org/photo-1276702.html*;
г) турмаліну *Pala Mining District, San Diego County, California, USA* ©*Rob Lavinsky & irocks.com* *https://www.mindat.org/photo-249641.html*;
д) піриту *Cavnic Mine, Cavnic, Maramureş County, Romania* ©*Erik Lombini* *https://www.mindat.org/photo-1071309.html*;
е) піриту *Ambas Aguas, Muro de Aguas, La Rioja, Spain* ©*John H. Betts* *https://www.mindat.org/photo-4061.html*

Мікрорельєф розчинення. Генератори шарів розчинення за *(Фекличев, 1970)* - це всі поверхневі дефекти (вакансії, дислокації, домішкові центри, включення, тріщини, шви зростання двійників і блоків). Розподіляються фігури розчинення на гранях кристалів зазвичай нерівномірно, як і дефекти, котрі вони декорують *(Павлишин та ін.. 20217, 2021).* Форма їх розмаїта, але взагалі відповідає симетрії грані та умовам розчинення (рис. 29). Найчастіше вони являють собою конусоподібні заглиблення, приурочені до місць виходу дислокацій. Коли розчиняються ділянки грані, в яких зосереджені скупчення точкових дефектів, то виникають фігури розчинення з плоским дном.

На місці точкових дефектів і на ребрах, що сформовані з гранню поблизу крупніших дефектів, виникають спочатку одношарові симетричні заглиблення – фігури розчинення. Якщо генераторів розчинення багато, то вся поверхня грані вкривається великою кількістю дуже дрібних заглиблень, які часто помітити можна при вивчення під мікроскопом (макроскопічно вони створюють матовість грані), і формується так званий дрібнотравчастий рельєф. Розвиваються фігури розчинення у вигляді ланцюжка симетричних заглиблень і вздовж тріщин.

Фігура розчинення (травлення) є однією з небагатьох геометрично правильно оформлених мікроскульптур травлення.

Спостерігаються канало- і жолобоподібні заглиблення, що формуються на місці дефектів часто прямолінійної форми.

Відомі такі типи мікрорельєфу розчинення *(Фекличев, 1970)*:

- ✓ дрібнотравчастий (розвиток великої кількості дуже дрібних заглиблень);
- ✓ канальний (розвиток паралельних каналів розчинення, розділених нерозчиненою поверхнею грані);
- ✓ павутинно-канальний (розвиток каналів розчинення, що поєднуються між собою і формують сітку на грані кристала);
- ✓ каверновий (каверни, розділені ділянками нерозчиненої поверхні);
- ✓ останцовий (вершини останців представлені нерозчиненою поверхнею грані).

Рис. 29.Мікрорельєф розчинення на поверхні берилу
Heffernans Mine, Gough Co., New South Wales, Australia ©David Sheumack
https://www.mindat.org/photo-454620.html

Анатомія кристалу є джерелом інформації про історію його «життя» *(Попов, 2011).* Д.П.Григор'єв (1971) ввів в мінералогію термін «*анатомія мінералів*», що висвітлює інформацію про їхні технологічні властивості та генезис мінеральних індивідів *(Павлишин та ін., 2017, 2021).*

Анатомія мінералів стосується макро-мікробудови об'єктів – зональності, секторіальності, мозаїчності тощо. Крім того вона має непересічне значення при з'ясуванні можливостей практичного використання кристалів, оскільки абсолютно однорідних у всьому об'ємі кристалів не існує, а у деяких технічно важливих випадках лише знання закономірностей секторіальної будови дозволяє відокремити з кристала практично однорідні ділянки *(Леммлейн, 1973).*

Основні елементи первинної (ростової) анатомії кристалів *(Павлишин та ін., 2017, 2021)* (рис. 30) :

1) піраміди росту граней;
2) зони росту граней;
3) поверхні росту ребер;
4) лінії росту вершин;
5) включення.

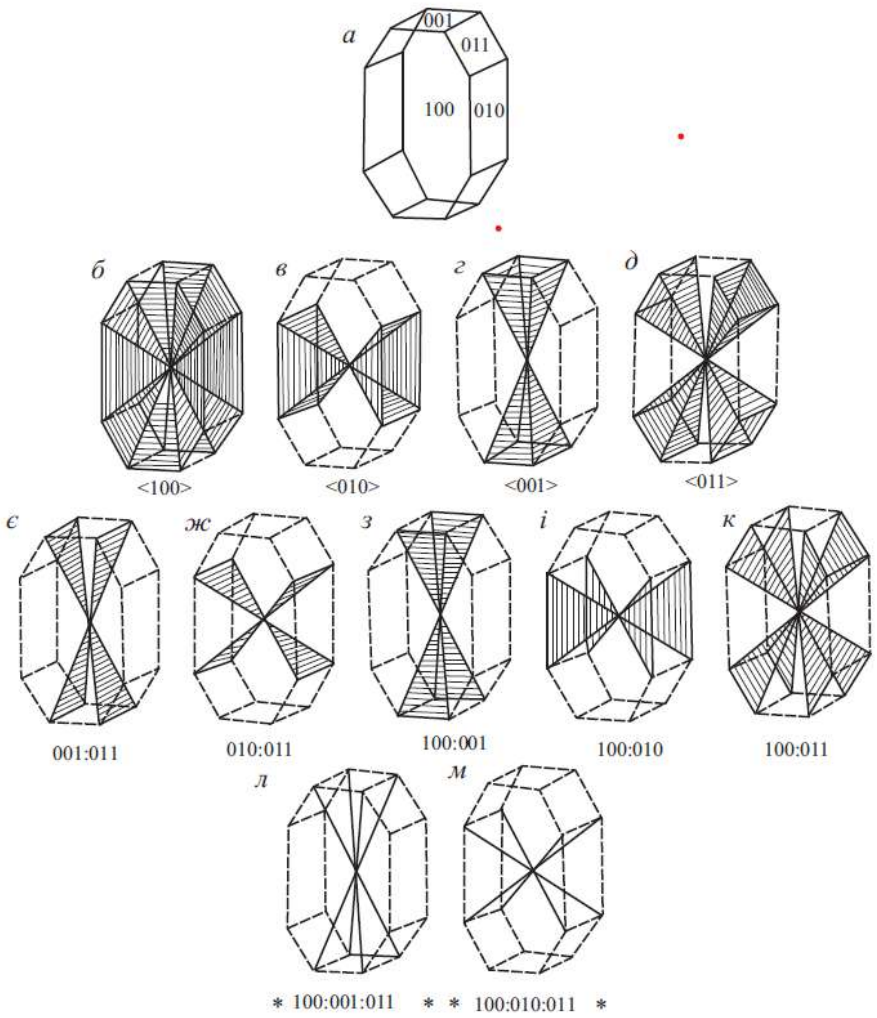
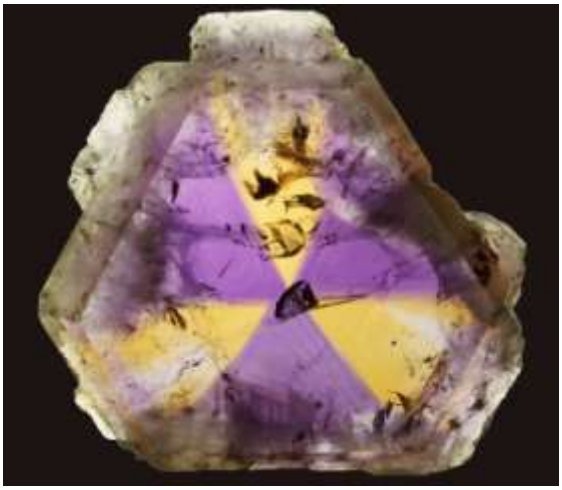
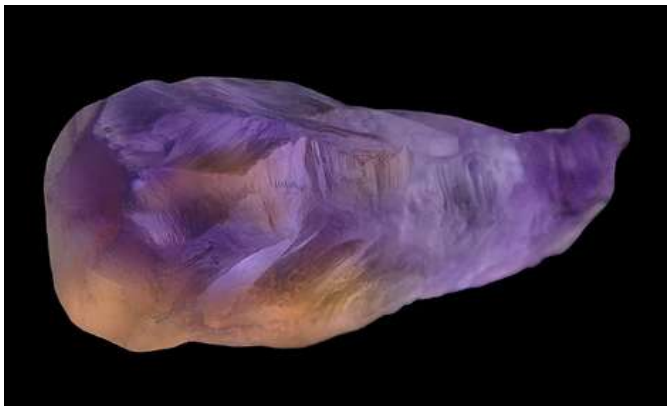


Рис. 30. Елементи анатомії кристала (*а*). За Д.П.Григор'євим. *б – д* – піраміди росту граней; *є – к* – поверхні росту ребер; *л – м* – лінії росту деяких вершинних форм *(Павлишин і Довгий, 2013)*.

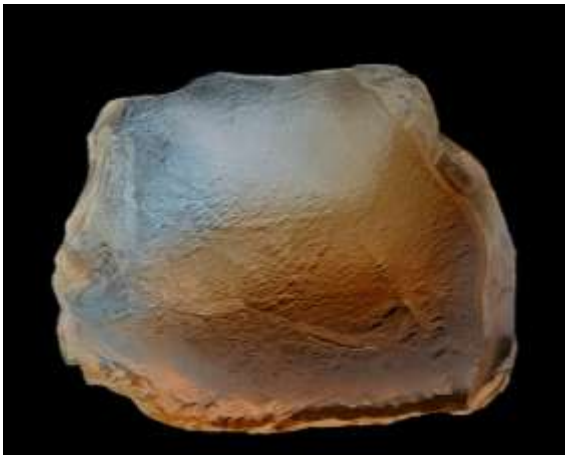
Реальному кристалу притаманна *секторіальна будова* (рис. 31), зумовлена наявністю в ньому пірамід (секторів), число яких дорівнює числу граней, що ростуть. Піраміди росту різних граней є фізично і хімічно неоднакові і тому створюють основну гетерогенність кристалів.



а



б



в

г

Рис. 31. Секторіальна будова мінералів:
а) аметрин *Anahi Mine, Santa Cruz, Bolivia* ©*Ru Smith* *https://www.mindat.org/photo-723620.html*;
б) аметрин *Anahi Mine, , Santa Cruz, Bolivia* ©*Lopatkin Oleg* *https://www.mindat.org/photo-962713.html*;
в) топаз *Khoroshiv Raion, Zhytomyr Raion, Zhytomyr Oblast, Ukraine* © *Oleg Lopatkin* *https://www.mindat.org/photo-341566.html*;
г) топаз *Itinga, Minas Gerais, Brazil* *https://www.mindat.org/photo-1290595.html*

Зональність – це загальна риса мінеральних індивідів, спричинена тим, що кристалізація мінералів ніколи не здійснюється в абсолютно сталих умовах (рис. 32). Тому різночасові зони росту мають різний, інколи дуже відмінний склад або будову, або і те, й інше.

а

б

в

г

Рис. 32. Зональність в мінералах:
а) аметист *Amatitlán Mine, Guerrero, Mexico* ©*A&M https://www.mindat.org/imagecache/4a/f3/0505685001494842665990 6.jpg*;
б) аметист *Adrar Tirecht Bou Oudi, Souss-Massa Region, Morocco* ©*Fabre Minerals https://www.mindat.org/photo-245843.html*;
в) турмалін *Anjanabonoina pegmatites, Vakinankaratra, Madagascar* ©*Fabre Minerals https://www.mindat.org/photo-56953.html*;
г) турмалін *Dunton Gem Quarry, Newry, Oxford County, Maine, USA* ©*Rockpick Legend Co. & Rick Dalrymple https://www.mindat.org/photo-288234.html*

Зональність кристалів може бути спричинена не лише зовнішніми чинниками – зміною *T*, *P*, *C*, але і ритмічним механізмом росту. Ритмічність започатковується послідовністю приєднання будівельних частинок до граней, що ростуть.

Зональність кристалів поділяється на два основні типи:

- ✓ *першого порядку (груба*) віддзеркалює зміну зовнішніх параметрів кристала, що росте,
- ✓ *другого порядку (тонка*), пов'язана з механізмом ритмічного росту.

Фантомні кристали – зональні кристали, всередині якого помітні форми цього кристалу на ранніх стадіях його росту (рис. 33). Виникнення фантомів пов'язане із зміною умов у процесі кристалізації чи з періодичною зупинкою росту кристалу та подальшим його відновленням.

Додаткові елементи анатомії виникають в районі випадкових і синтаксичних вростків, при радіоактивному розпаді включень, а також пов'язані з утворенням «тіней» на місці заміщених мінералів при метасоматозі, шлейфів за перешкодами, огинання і утикання шарів росту і т. д.

а

б

в

г

Рис. 33.Фантомні кристали кварцу (а, б) і кальциту (в,г):
а) *Diamantina, Minas Gerais, Brazil ©Rob Lavinsky & irocks.com https://www.mindat.org/photo-327036.html;*
б) *Minas Gerais, Brazil ©Photo & Collection of Martins da Pedra https://www.mindat.org/photo-131128.html;*
в) *Sweetwater Mine, Ellington, Reynolds County, Missouri, USA ©Christopher Clemens https://www.mindat.org/photo-683022.html;*
г) *Buena Tierra Mine, Aquiles Serdán Municipality, Chihuahua, Mexico ©Christian Bracke https://www.mindat.org/photo-119909.html.*

Отже, реальні мінеральні індивіди завжди неоднорідні, гетерогенні всупереч уявленням класичної кристалографії про їх

гомогенність. Ця найголовніша риса анатомії кристалів має велике значення і повинна враховуватися при вивчені природних об'єктів.

Включення в кристалах. Джерелом найоб'єктивнішої та ємної інформації про фізико-хімічні умови середовища мінералоутворення є включення в мінералах *(Павлишин та ін., 2017, 2021)* (рис. 34). Часто вони є причиною забарвлення, визначають якість як ювелірної, так і технічної сировини.

Включення нерозривно пов'язані з історією індивідів, є своєрідними елементами їх анатомії, показниками патологічної будови мінералів.

Включення – це будь-яка ізольована з усіх боків у період росту (перетворення) ділянка кристала, яка має з ним фазову межу, що не є стабільною і перебуває в динамічній рівновазі. Це стосується не лише пари «мінерал-мінералоутворювальне середовище», але і «мінерал-мінерал», «мінерал-мінерал-мінералоутворювальне середовище».

З погляду анатомічної будови кристалів, включення – це об'ємний дефект, заповнений у процесі кристалізації мінералоутворювальним флюїдом або іншою речовиною. Включення в кристалах відрізняються між собою розмірами, формою, агрегатним станом, хімічним складом, походженням та ступенем герметичності.

а

б

в

г

д

е

Рис. 34. Включення у кварці:
а) кварц (фенстер) з глинистими включеннями *Alto Reno Terme, Metropolitan City of Bologna, Emilia-Romagna, Italy © Orlando Olivieri https://www.mindat.org/photo-1103912.html;*
б) кварц з включеннями голчастого рутилу *Novo Horizonte, Bahia, Brazil ©Y.Okazaki https://www.mindat.org/photo-370022.html;*
в) кварц з численними включеннями гематиту *Fluorite mine, Vichy, Allier, Auvergne-Rhône-Alpes, France © Chollet Pascal https://www.mindat.org/photo-345111.html;*
г) кварц з включеннями геденбергіту *Mega Horio, Serifos Island, Milos, South Aegean, Greece ©Kristalle and Crys https://www.mindat.org/photo-74163.html;*
д) кварц з включеннями бітуму *Jinkouhe District, Leshan, Sichuan, China https://www.mindat.org/photo-63818.html;*
е) кварц з включеннями турмаліну (індиголіт) *Minas Gerais, Brazil ©Ian Whitlock https://www.mindat.org/photo-646194.html*

Розміри включень коливаються в широких межах – від кількох сантиметрів до невидимих в оптичному мікроскопі (менше 0,25-0,30 *мкм*). За допомогою електронної мікроскопії зафіксовано значну кількість включень мінералоутворювального середовища з розміром менше 0,02 *мкм*. Теоретично розмір включення може сягати розміру молекули води (0,23 *нм*) чи CO_2 (0,35 *нм*). Можна говорити, що існує безперервний ряд включень – від субмікроскопічних тривимірних дефектів, заповнених невеликим числом молекул, до макродефектів, які видно неозброєним оком.

Форма включень визначається їх вмістом, конституцією мінералу-господаря та умовами кристалізації. Мінеральні включення можуть мати:

а) форму уламків;

б) форму, властиву кристалам захопленого мінералу;

в) спотворену форму, спричинену законами сумісного росту мінералу-включення і мінералу-господаря;

г) форму, властиву продуктам, що виникли внаслідок розпаду твердих розчинів.

Коли термічні коефіцієнти розширення (стискування) мінералу-господаря і мінералу-включення відрізняються, то на їх контакті виникає напруга.

Форма включення, заповненого реліктами мінералоутворювального середовища, визначається складом цих реліктів, кристалічною структурою мінералу-господаря та умовами захоплення включення.

Речовина включень може мати різний агрегатний стан: твердий, рідкий, газовий (рис. 35). Звичайним є поєднання у включеннях фаз з різним агрегатним станом і різного хімічного складу.

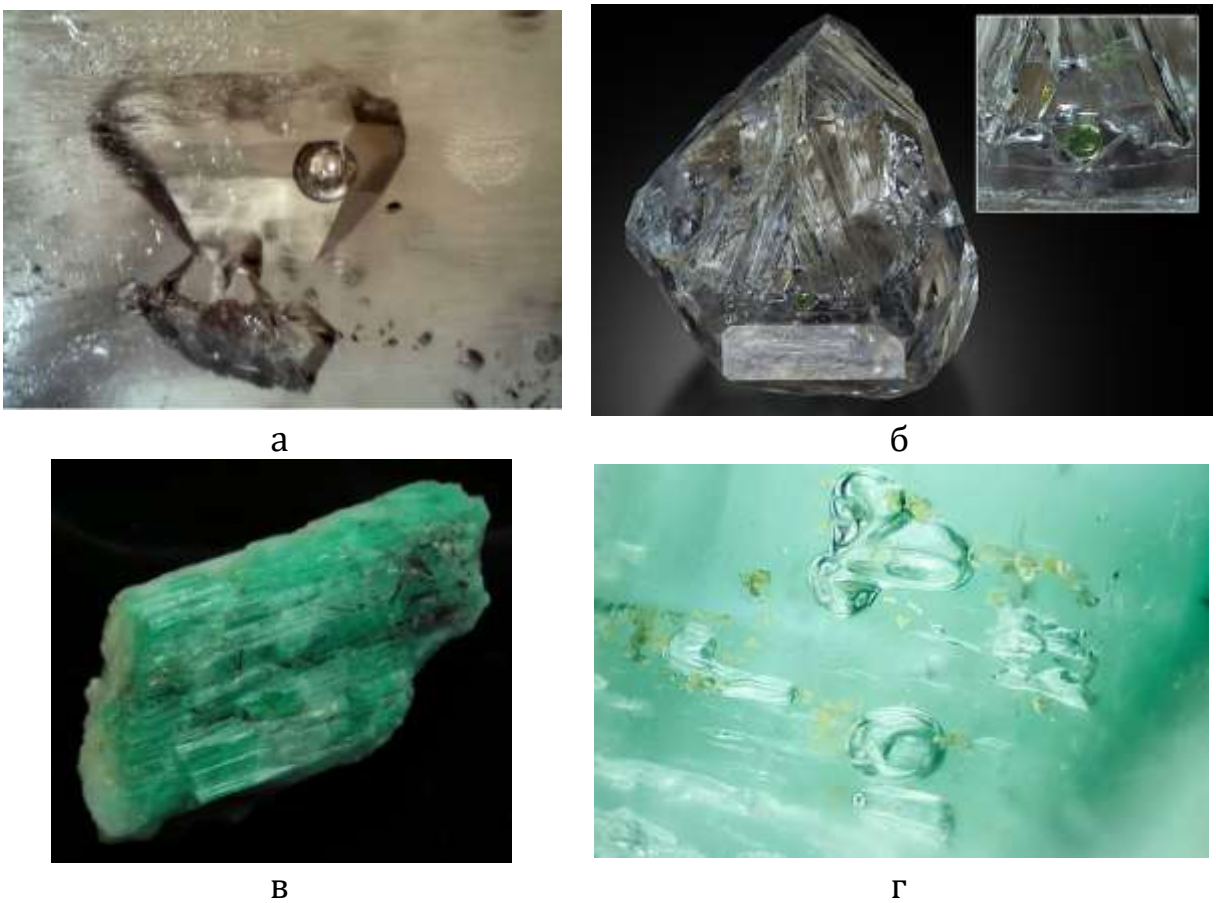


Рис. 35. Різнофазові включення:
а) газово-рідинне включення у кварці *Santa Eulalia Mining District, Chihuahua, Mexico https://www.mindat.org/photo-952623.html;*
б) багатофазове включення у кварці *Pistoia Province, Tuscany, Italy https://www.mindat.org/photo-1269207.html;*
в) берил (смарагд) з включеннями чорного турмаліну *Khaltaro, Gilgit-Baltistan, Pakistan © Aymeric Longi https://www.mindat.org/photo-262287.html;*
г) двофазні газово-рідинні включення у берилі (смарагд) *Boyacá Department, Colombia © Jhonatan Gomes https://www.mindat.org/photo-1158609.html*

ТЕМА 3: **ТИПОМОРФНІ ОЗНАКИ МІНЕРАЛІВ**

Геологічні (природні) процеси утворення і перетворення мінералів і порід традиційно підрозділяються на ендогенні, метаморфогенні і екзогенні *(Попов, 2011; Станкеев, 1986).*

Серед *ендогенних* (глибинних) процесів зазвичай виділяються такі: магматичний, пегматитовий, карбонатитовий, скарновий, пневматолітово-гідротермальний і гідротермальний.

До *метаморфогеного* відносять процеси діагенезу, регіонального і локального метаморфізму, утворення жил «альпійського» типу.

Екзогенні процеси під дією вітру, атмосферних опадів і газів призводять до формування кори вивітрювання з зонами окислення, а також механічних, хімічних і біохімічних осадів.

У таку класифікацію не включені процеси мінералоутворення із зріджених газів і нафти, а також метаморфізм мінералів, який може відбуватися і в зоні гіпергенезу (наприклад, при колчеданових пожежах і на шахтних териконах).

Серед різноманітних факторів мінералоутворення можна виділити три основні групи *(Станкеев, 1986)*:

- ✓ геохімічні - хімічний склад мінералоутворюючого середовища і вмісних порід тощо;

- ✓ термодинамічні і фізико-хімічні - температура, тиск, концентрація хімічних компонентів, окиснювально-відновний потенціал, кислотність-лужність середовища;
- ✓ геологічні - мінеральний склад вмісних порід, їх пористість, тріщинуватість та інші фізико-механічні властивості, умови залягання.

В залежності від генезису мінерали та їх асоціації характеризуються певними генетичними ознаками.

Генетичні ознаки мінералів і мінеральних асоціацій - це такі особливості мінеральних тіл, агрегатів та їх індивидів, які обумовлені умовами і способами їх утворення і тому можуть у сукупності вказувати на генезис. До них відносяться наступні:

- ✓ геологічні умови знаходження в сингенетичних породах і родовищах;
- ✓ синхронні навколорудні зміни вмісних порід;
- ✓ форми і розміри мінеральних тіл і агрегатів;
- ✓ внутрішня будова мінеральних тіл і текстурно-структурні особливості агрегатів;
- ✓ мінеральний склад тіл і парагенетичні асоціації мінералів;
- ✓ типоморфізм мінералів;
- ✓ поява псевдоморфоз;
- ✓ мінеральні виски і рівні, присипки тощо.

Генетичні ознаки мінеральних тіл і агрегатів вказують в першу чергу на геологічні, геохімічні та фізико-хімічні умови їх утворення *(Станкеєв, 1986).* Вивчення цих ознак починається з спостережень геологічних умов їх перебування в гірських породах або родовищах корисних копалин для встановлення типу геологічного процесу.

Парагенезис мінералів. Уявлення про закономірне спільне знаходження мінералів в природі виникло дуже давно *(Павлишин та ін., 2017, 2021; Попов, 2011)*. Сьогодні існують суперечливі визначення поняття парагенезису мінералів і різні методичні підходи до вирішення основного завдання - аналізу природних асоціацій мінералів з метою встановлення їх генезису.

Під *парагенезисом мінералів* будемо розуміти явище закономірного співзнаходження мінералів в природі, обумовлене їх спільним утворенням в певній віковій послідовності при будь-якому мінералоутворюючому процесі, в схожих фізико-хімічних умовах для кожної стадії цього процесу.

Вживати термін парагенезиси мінералів як синонім парагенетичної мінеральної асоціації нераціонально. Парагенезис мінералів - це природне явище одного порядку з генезисом; парагенетична мінеральна асоціація - це результат процесу, що відбувався у схожих фізико-хімічних умовах, тобто генетична ознака

мінералів. Можна говорити про закономірне, обумовлене спільним утворення співзнаходження мінералів в мінеральному агрегаті або в мінеральному тілі. Отож, першому відповідає поняття парагенетична асоціація мінералів, другому - мінеральна асоціація.

Парагенетична асоціація мінералів - це закономірна група мінералів, що складають мінеральний агрегат, спільно і майже одночасно утворилися на одній стадії мінералоутворюючого процесу, в однакових фізико-хімічних умовах. Такі асоціації є стійкими і постійно повторюються в природі.

Якщо детальні мікроскопічні і хімічні дослідження, супроводжувані фізико-хімічним аналізом, виявляють в мінеральному агрегаті декілька рівноважних груп мінералів, то їх слід називати *рівноважними парагенетичними асоціаціями* мінералів, а всередині стадії мінералоутворення виділяти *підстадії*.

Рівноважна парагенетична асоціація мінералів - це закономірна група мінералів, яка є рівноважною мінеральної системою в певних межах термодинамічних умов і утворилися спільно і одночасно на одній підстадії процесу мінералоутворення, що відповідає одній ступені мінерального рівноваги.

Мінеральна асоціація - це ряд парагенетичних асоціацій мінералів, що складають мінеральне тіло (або ділянку складного тіла), спільно

утворилися в певній віковій послідовності на одному етапі мінералоутворюючого процесу, в схожих фізико-хімічних умовах.

Якщо один і той же мінерал зустрічається в мінеральному тілі в декількох різновікових агрегатах, то виділяють генерації (покоління) цього мінералу.

Генерації мінералу - це його різновікові індивіди, що виділилися на різних стадіях (або підстадіях) мінералоутворення і відрізняються своїми типоморфними особливостями.

У фізико-хімічному сенсі мінерал (генерація мінералу) - фаза природної фізико-хімічної системи; парагенетична мінеральна асоціація - фізико-хімічна система. Мінеральна асоціація (ряд парагенетичних асоціацій мінералів) може розглядатися як ряд фізико-хімічних систем.

З даного вище визначення парагенезису видно, що спільно утворені мінерали мають генетичний зв'язок не тільки в просторі (співзнаходження), але і в часі, виділяючись в певній віковій послідовності.

Процес мінералоутворення поділяють на відрізки часу, що відповідають періодам відкладення тієї чи іншої асоціації мінералів: етапи, стадії, підстадії. Етап, найтриваліший з них, відповідає часу

формування мінеральної асоціації; стадія - часу відкладення парагенетичної асоціації мінералів; підстадія - виділенню рівноважної парагенетичної асоціації. У цьому ж порядку зменшуються тривалість і характер перерв між ними.

Типоморфізм мінералів - це властивість мінералів фіксувати умови, способи та час утворення, і тому своєю присутністю або частіше своїми типоморфними особливостями вказувати на генезис *(Павлишин, Довгий, 2013; Павлишин та ін., 2017).*

Найбільший обсяг генетичної інформації міститься в «наскрізних» мінералах, оскільки їх утворення відбувалося в широкому діапазоні фізико-хімічних умов. До таких мінералів відносяться кварц, кальцит, флюорит, породоутворюючі силікати (польові шпати, слюди та ін.), пірит, циркон. Типоморфізм мінералів в різних районах і навіть родовищах може мати певні регіональні (локальні) риси.

Найважливішими поняттями вчення про типоморфізм мінералів є типоморфні мінерали і типоморфні особливості мінералів.

Типоморфні мінерали - це мінерали, які утворилися в певних умовах та в певний час і тому своєю присутністю можуть вказувати на умови і час утворення.

Можна також говорити про *типоморфізм асоціацій мінералів*, типових для певних стадій мінералоутворюючого процесу. В цьому випадку вивчаються взаємопов'язані типоморфні особливості співіснуючих мінералів, наприклад гранатів і піроксенів, плагіоклазів і скаполітів в скарнах.

Типоморфні особливості мінералу - це такі особливості форми, складу, структури і властивостей його індивідів, які обумовлені генезисом і тому можуть в сукупності вказувати на спосіб, умови і час утворення.

Розрізняють типоморфізм форм виділення, хімічного складу, кристалічної структури і фізичних властивостей мінералів. Відповідно виділяють морфологічні, хімічні, структурні та фізичні типоморфні особливості мінералів.

В якості морфологічних типоморфних особливостей можуть слугувати *(Попов, 2011)*.:

- ✓ вигляд і огранення (габітус) мінеральних індивідів, зниження або підвищення їх зовнішньої симетрії (у порівнянні з симетрією гратки) в різних умовах мінералоутворення, поява вершинних і реброві форм, скелетних і ниткоподібних кристалів;
- ✓ мікроморфологія (скульптура / рельєф) граней: штриховка і візерунки, фігури росту, розчинення, регенерації;

- ✓ внутрішня будова (анатомія) мінеральних індивідів: макро- і мікронеоднорідність (зональність, секторіальність, блочність і мозаїчність), наявність і характер газово-рідинних та інших включень тощо;
- ✓ характер і ступінь двійникових і епітаксичних зростків;
- ✓ характер утворених мінералом агрегатів тощо.

Морфологічні типоморфні особливості детально вивчені у кварцу, кальциту (рис. 36), флюориту, каситериту, циркону і ряду інших мінералів.

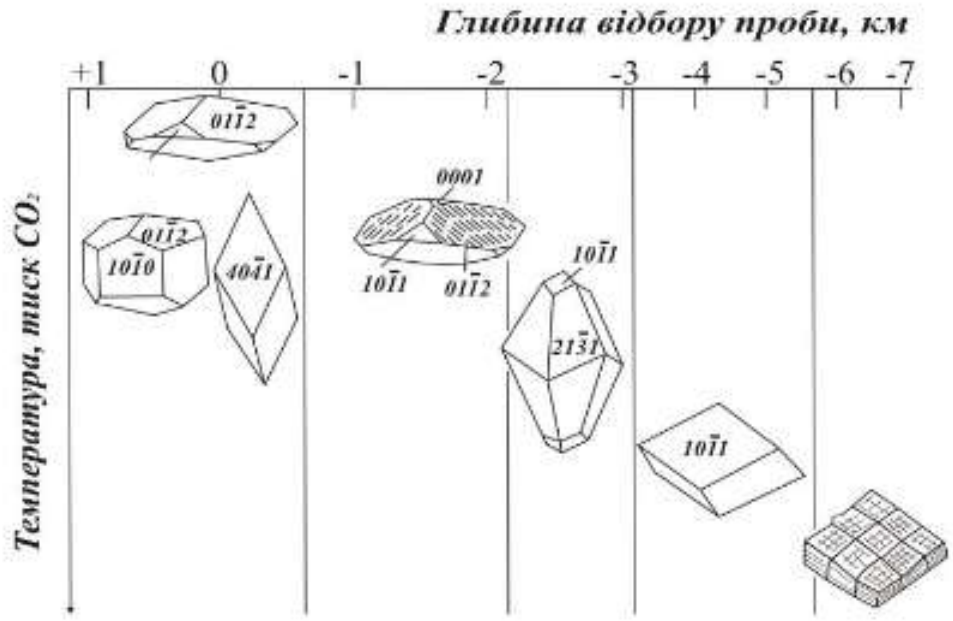


Рис. 36. Зміна габітусу кристалів кальциту із тріщинних ділянок Внутрішньої зони Передкарпатського прогину та Скибової зони Складчастих Карпат (за даними Б.В. Заціхи (1989)) *(Занкович, 2016)*

Найважливішими є хімічні типоморфні (типохімічні) особливості, до яких відносяться:

- ✓ ступінь відповідності хімічного складу стехіометрії (наприклад, у піриту), варіації складу катіонів та аніонів, що знаходяться в різних координаціях;
- ✓ наявність і склад елементів-домішок, зумовлених ізоморфізмом і мікровключеннями мінералів (ніобій і тантал в каситеритах і вольфрамітах, луги в берилах, рідкісні землі в апатитах і флюоритах тощо), індикаторні співвідношення елементів-домішок, різнотиповий розподіл їх в структурі та інші неоднорідності складу;
- ✓ ізотопний склад в мінералах таких елементів, як сірка, вуглець, кисень, водень, свинець, уран;
- ✓ ступінь гідратації мінералу тощо.

Велика увага приділяється структурним типоморфним особливостям, до яких відносять:

- ✓ особливості структури, наприклад параметри і структурна щільність елементарної комірки - коефіцієнт компактності структури (у кварцу, гранатів);

- ✓ поліморфізм (кремнезему, ряду сульфідів, багатьох силікатів) і політипізм (слюди, молібденіту);
- ✓ ступінь структурної упорядкованості: рентгенівська триклінність, структурно-оптичні властивості (у польових шпатів, каолініту тощо);
- ✓ дефектність структур: густина дислокацій, характер вакансій, домішкових і електронно-діркових центрів та інші неоднорідності структури;
- ✓ ступінь і характер метаміктного розпаду (циркону, ортиту, пірохлору).

Фізичними типоморфними особливостями, зумовленими типоморфізмом фізичних властивостей мінералів, можуть служити:

- ✓ забарвлення мінералу і колір його риси, блиск, мікротвердість, густина і деякі інші з діагностичних властивостей мінералів;
- ✓ спеціальні фізичні (і фізико-хімічні) властивості мінералів: люмінесцентні (у шеєліту, циркону), термолюмінесцентні (у кварцу, флюориту), електричні, зокрема електропровідність, термо-електрорушійна сила (у кварцу, турмаліну, берилу, піриту), магнітні - точки Кюрі, питома намагніченість, вторинні магнітні властивості (у магнетиту, ільменіту тощо), термічні, характер

спектрів поглинання - оптичних, електронного парамагнітного резонансу, ядерного гамма-резонансу, ядерного квадрупольного резонансу, ядерного магнітного резонансу, водневий показник суспензії тощо;

- ✓ кристалооптичні властивості мінералів: заломлення, двозаломлення, відбивна здатність, кут оптичних осей, плеохроїзм.

При вивченні типоморфізму мінералів необхідно зважати на те, що в природі можлива так звана конвергенція їх типоморфних особливостей, тобто удавана «схожість або збіг ознак мінералів, що утворилися в різних умовах». Як зазначає Попов, дослідник може зустрітися з різними мінеральними тілами - від простих до дуже складних, від дрібних до дуже великих (наприклад тілами мінеральних формацій, космічними тілами), від моно- до полігенних *(Попов, 2011)*. Відповідно, «зчитування» генетичної інформації буде визначатися складністю тіл і дослідницькими можливостями (розтин, анатомування тіл, приладова база тощо). Вдалість генетичних моделей (наближення до «природи») визначається, з одного боку, кількістю і якістю знятої інформації про мінеральне тіло, з іншого - строгістю термінів і правильністю теоретичної бази генетичної мінералогії.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота 1. *Механізми зародження і росту мінеральних індивідів та агрегатів*

Метою лабораторної роботи є:

- ☑ Засвоєння теоретичного матеріалу щодо основних механізмів зародження і росту мінеральних індивідів та агрегатів
- ☑ Набуття практичних навичок з визначення особливостей морфології мінеральних індивідів та агрегатів

Завдання

1. Діагностувати мінерал у наданому зразку навчальної колекції.
2. Визначити обрис і габітус (за можливості) мінерального індивіду або у випадку агрегату – тип агрегату.
3. Виявити особливості морфології мінерального індивіду (наприклад, асиметрії, розщеплення, скручування кристалів тощо) / агрегату.
4. Виявити наявність / відсутність різних генерацій мінералу.
5. Зробити висновки щодо можливого механізму зародження і росту мінерального індивіду / агрегату

Результати виконаної роботи подати у вигляді опису зразка складеного за візуальним дослідженням (табл. 1).

Таблиця 1. Приклад оформлення результатів дослідження.

№ зразка	*Назва мінерального виду, формула*	*Обрис і габітус мінерального індивіду / тип мінерального агрегату*	*Особливості морфології*	*Можливі механізми зародження і росту*	*Наявність різних генерацій мінералу*

Лабораторна робота 2. *Механізми зміни і руйнації мінеральних індивідів та агрегатів*

Метою лабораторної роботи є:

- ☑ Засвоєння теоретичного матеріалу щодо механізмів зміни і руйнації мінеральних індивідів та агрегатів
- ☑ Набуття практичних навичок у виявлені ознак змін і руйнації мінеральних індивідів та агрегатів

Завдання

1. Діагностувати мінерали у наданій навчальній колекції зразків.
2. . Виявити ознаки зміни і руйнації мінерального індивіду / агрегату.
3. Зробити висновки щодо можливого механізму зміни і руйнації мінерального індивіду / агрегату

Результати виконаної роботи подати у вигляді опису зразка складеного за візуальним дослідженням (табл. 2).

Таблиця 2. Приклад оформлення результатів дослідження.

№ зразка	*Назва мінерального виду, формула*	*Ознаки зміни / руйнації мінерального індивіду / агрегату*	*Можливі механізми зміни і руйнації*

Список рекомендованої літератури до теми «Генезис мінеральних індивідів та агрегатів»

Бакуменко І. (2002) Мозаїчна будова кристалів та особливості розщеплених і скручених індивідів // Мінералогічний збірник 2002. № 52. Вип. 2. С. 34–46

Вальтер А.А., Рябенко В.А. (1977) Взрывные кратеры Украинского щита. – К.: Наук. думка, 154 с.

Вахромєєв С.А. (1959) Посібник з мінераграфії. – Львів: Вид-во Львівського у-ту, 1959. – 251 с.

Григорьев Д.П., Жабин А.Г. (1975) Онтогения минералов. Индивиды. Наука, 240с.

Жабин А.Г. (1979) Онтогения минералов. Агрегаты. Наука, 276с.

Кульчицька Г., Герасимець І., Бельский В. (2018) Генезис скелетних і зональних псевдомонокристалів // Мінералогічний збірник. 2018. № 68. Вип. 1 с.24-29

Курило М.В., Михайлов В.А. (2010) Рудні мінерали і методи їх вивчення. Методичні вказівки до лабораторних занять з курсу „Мінераграфія" для студентів геологічних і гірничих спеціальностей вищих навчальних закладів. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 54 с.

Курило М.В., Михайлов В.А., Дубина О.В. (2014). Мінераграфія. Підручник. К.: Київський університет. 381 с.

Лазаренко Е.К. (1963) Основы генетической минералогии. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 410с.

Лазаренко Є.К. (1970) Курс мінералогії. – Київ: Вища школа, 600с.

Латиш І.К. Рудні мінерали та їх діагностика – К.: Артек, 2003. – 170 с.

Павлишин В., Ворошилов Ю., Квасниця І. (2017) Мінералогія. Короткий курс для бакалаврів: підручник. - К.: ВПЦ «Київський університет», 527 с.

Павлишин В.И., Юшкин Н.П., Попов В.А. (1988) Онтогенический метод в минералогии. К.: Наук.думка, 120с.

Павлишин В.І., Довгий С.О. (2013) Мінералогія: Підручник. Частина 2. Властивості мінералів. Генезис мінералів. Прикладна мінералогія. Діагностичні таблиці мінералів. – К.: КНТ, 528 с.

Павлишин В.І., Матковський О.І., Довгий С.О. Генезис мінералів. Підручник. Перше видання: К.: ВПЦ "Київський університет", 2003. –672 с.; Друге видання: К.: КНТ, 2007. –556 с; Третє видання: Київ, 2021. – 676 с.

Лабораторна робота 3. *Особливості поверхні мінералів та їх анатомія як типоморфні ознаки*

Метою лабораторної роботи є:

- ☑ Засвоєння теоретичного матеріалу щодо особливостей поверхні та анатомії мінералів
- ☑ Набуття практичних навичок з визначення особливостей поверхні та анатомії мінералів

Завдання

1. Діагностувати мінерали у наданій навчальній колекції зразків.
2. Виявити особливості рельєфу поверхні мінералів (наявність штриховки, акцесоріїв росту, ознак розчинення, оплавлення тощо).
3. Виявити особливості анатомії мінералів (секторіальність, зональність, нерівномірність розподілу забарвлення, механічних домішок, наявність і характер включень тощо).
3. Зробити висновки щодо особливостей генезису мінералу

Результати виконаної роботи подати у вигляді опису зразка складеного за візуальним дослідженням з використанням оптичних приладів (лупи / бінокуляру) (табл. 3).

Таблиця 3. Приклад оформлення результатів дослідження.

№ зразка	*Назва мінерального виду, формула*	*Особливості рельєфу поверхні мінералу*	*Особливості анатомії мінералу*	*Особливості генезису мінералу*

Список рекомендованої літератури до теми «Поверхні мінеральних індивідів та анатомія мінералів»

Леммлейн Г.Г. (1948) Секториальное строение кристаллов. ,40 с.

Павлишин В. І., Довгий С.О. (2013) Мінералогія: Підручник. Частина 2. Властивості мінералів. Генезис мінералів. Прикладна мінералогія. Діагностичні таблиці мінералів. – К.: КНТ, 2013. – 528 с.

Павлишин В., Ворошилов Ю., Квасниця І. (2017) Мінералогія. Короткий курс для бакалаврів: підручник. - К.: ВПЦ «Київський університет», 527 с.

Павлишин В.І., Матковський О.І., Довгий С.О. Генезис мінералів. Підручник. Перше видання: К.: ВПЦ "Київський університет", 2003. –672 с.; Друге видання: К.: КНТ, 2007. –556 с; Третє видання: Київ, 2021. – 676 с.

Попов В.А. (1984) Практическая кристалломорфология минералов. – С., 190 с.

Фекличев В.Г. (1970) Микрокристалломорфологические исследования. Наука, 177 с.

Фекличев В.Г. (1966) Микрокристалломорфологический анализ. Наука, 199 с.

Хейман Р.Б. (1979) Растворение кристаллов. Теория и практика. Недра, 272 с.

Berner, R.A.& Schott, J. (1982): Mechanism of pyroxene and amphibole weathering; II, Observations of soil grains. Amer. J. Sci ., 282, 1214–1231

Hartman P. (1973) Crystal Growth: An Introduction.; American Elsevier Publishing Company, Inc. 1973.

Hochella Jr., M.F.(1995): Mineral surfaces; their characterization and their chemical, physical and reactive nature. in "Mineral Surfaces", D.J.Vaughan& R.A.D.Pattrick, eds., Min. Soc. Series , 5, Chapman & Hall, London, 17–60

Kitagawa R. (1998) Surface microtopography of illite crystals from different modes of occurrence. The C*anadian Mineralogist, 1998, 36 (6): 1559–1567.*

Kvasnytsia I. (2019) Microtopography of zircon crystal faces as essential component in modeling the mineral formation process // 18th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects.

Kvasnytsia I.V. (2021) Surface microtopography of pyroxene crystals. 20th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects. 2021

Lasaga A. C., Lüttge A. (2003) A model for crystal dissolution. European Journal of Mineralogy *2003; 15 (4): 603–615. doi: https://doi.org/10.1127/0935-1221/2003/0015-0603*

Lasaga A. C., Luttge A. (2001) Variation of Crystal Dissolution Rate Based on a Dissolution Stepwave Model.Science 291,2400-2404 .DOI:10.1126/science.1058173

Patricia M. Dove, Nizhou Han, and James J. De Yoreo (2005) Mechanisms of classical crystal growth theory explain quartz and silicate dissolution behavior, 102 (43) 15357-15362 https://doi.org/10.1073/pnas.0507777102

Sangwal K. (1987) Etching of Crystals: Theory, Experiment, and Application. Amsterdam: North-Holland Physics Publishing

Sunagawa I. (2005) Crystals: Growth, Morphology, & Perfection.- Cambridge University Press. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511610349

*Tomura, S., Kitamura, M., Sunagawa, I. (1979) Surface microtopography of metamorphic white micas. Phys Chem Minerals **5**, 65–81 https://doi.org/10.1007/BF00308169*

White A. F., Brantley S. L., Eds. (1995) Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals, vol. 31 of Reviews in Mineralogy (Mineral Society of America, Washington, DC).

Zhang, Y., Walker, D., Lesher, C.E. (1989) Diffusive crystal dissolution. Contr. Mineral. and Petrol. 102, 492–513 https://doi.org/10.1007/BF00371090

Інтернет-ресурс Database https://www.mindat.org/

Інтернет-ресурс Mineralogy Database http://webmineral.com/

Лабораторна робота 4. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів мінералів в магматичних, пегматитових утвореннях, карбонатитах*

Метою лабораторної роботи є:

- ☑ Засвоєння теоретичного матеріалу про генезис і генетичні ознаки мінералів в магматичних, пегматитових утвореннях, карбонатитах
- ☑ Набуття практичних навичок з визначення генезису і генетичні ознаки мінералів мінералів в магматичних, пегматитових утвореннях, карбонатитах

Завдання

1. Визначити мінерали та асоціації мінералів у наданих зразках, визначити їх генетичні ознаки.
2. Виявити наявність морфологічних і фізичних типоморфних особливостей притаманних мінералам магматичних, пегматитових утворень, карбонатитам.

Результати виконаної роботи подати у вигляді опису зразка складеного за візуальним дослідженням з використанням оптичних приладів (лупи / бінокуляру) (табл. 4).

Таблиця 4. Приклад оформлення результатів дослідження.

№ зразка	*Назва мінерального виду, формула*	*Морфологічні і фізичні типоморфні особливості*

Лабораторна робота 5. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів в пневматолітово-гідротермальних, гідротермальних утвореннях, скарнах*

Метою лабораторної роботи є:

- ☑ Засвоєння теоретичного матеріалу про генезис і генетичні ознаки мінералів в пневматолітово-гідротермальних, гідротермальних утвореннях, скарнах
- ☑ Набуття практичних навичок з визначення генезису і генетичні ознаки мінералів мінералів пневматолітово-гідротермальних, гідротермальних утвореннях, скарнах

Завдання

1. Визначити мінерали та асоціації мінералів у наданих зразках, визначити їх генетичні ознаки.
2. Виявити наявність морфологічних і фізичних типоморфних особливостей притаманних мінералам пневматолітово-гідротермальних, гідротермальних утворень, скарнам.

Результати виконаної роботи подати у вигляді опису зразка складеного за візуальним дослідженням з використанням оптичних приладів (лупи / бінокуляру) (табл. 5).

Таблиця 5. Приклад оформлення результатів дослідження.

№ зразка	*Назва мінерального виду, формула*	*Морфологічні і фізичні типоморфні особливості*

Лабораторна робота 6. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів в осадових утвореннях, утвореннях зони окиснення та вивітрювання*

Метою лабораторної роботи є:

- ☑ Засвоєння теоретичного матеріалу про генезис і генетичні ознаки мінералів в осадових утвореннях, утвореннях зони окиснення та вивітрювання
- ☑ Набуття практичних навичок з визначення генезису і генетичні ознаки мінералів осадових утворень, утворень зони окиснення та вивітрювання

Завдання

1. Визначити мінерали та асоціації мінералів у наданих зразках, визначити їх генетичні ознаки.
2. Виявити наявність морфологічних і фізичних типоморфних особливостей притаманних мінералам осадових утворень, утворень зони окиснення та вивітрювання.

Результати виконаної роботи подати у вигляді опису зразка складеного за візуальним дослідженням з використанням оптичних приладів (лупи / бінокуляру) (табл. 6).

Таблиця 6. Приклад оформлення результатів дослідження.

№ зразка	*Назва мінерального виду, формула*	*Морфологічні і фізичні типоморфні особливості*

Лабораторна робота 7. *Особливості генезису і генетичні ознаки мінералів в метаморфічних утвореннях*

Метою лабораторної роботи є:

- ☑ Засвоєння теоретичного матеріалу про генезис і генетичні ознаки мінералів в метаморфічних утвореннях
- ☑ Набуття практичних навичок з визначення генезису і генетичні ознаки мінералів метаморфічних утворень

Завдання

1. Визначити мінерали та асоціації мінералів у наданих зразках, визначити їх генетичні ознаки.
2. Виявити наявність морфологічних і фізичних типоморфних особливостей притаманних мінералам метаморфічних утворень.

Результати виконаної роботи подати у вигляді опису зразка складеного за візуальним дослідженням з використанням оптичних приладів (лупи / бінокуляру) (табл. 7).

Таблиця 7. Приклад оформлення результатів дослідження.

№ зразка	*Назва мінерального виду, формула*	*Морфологічні і фізичні типоморфні особливості*

Список рекомендованої літератури до теми «Типоморфні ознаки мінералів»

Барабанов В.Ф. (1977) Генетическая минералогия. Недра, 327 с.

Бергер М.Г. (1986) Терригенная минералогия. Недра, 227 с.

Вальтер А.А., Рябенко В.А. (1977) Взрывные кратеры Украинского щита. – К: Наук. думка, 154 с.

Вахромєєв С.А. (1959) Посібник з мінераграфії. – Львів: Вид-во Львів. у-ту. – 251 с.

Курило М.В., Михайлов В.А. (2010) Рудні мінерали і методи їх вивчення. Методичні вказівки до лабораторних занять з курсу „Мінераграфія" для студентів геологічних і гірничих спеціальностей вищих навчальних закладів. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 54 с.

Курило М.В., Михайлов В.А., Дубина О.В. (2014). Мінераграфія. Підручник. К.: Київський університет. 381 с.

Лазаренко Е.К. (1963) Основы генетической минералогии. – Львов: Изд-во Львов.ун-та, 410 с.

Лазаренко Е.К. (1979) Опыт генетической классификации минералов. – К: Наук.думка, 316 с.

Латиш І.К. (2003) Рудні мінерали та їх діагностика – К.: Артек, . – 170 с.

Матковський О.І., Пирогов Б.І. (2002) Прикладна мінералогія. – Львів: Видав. центр Львів. ун-ту, 286 с.

Омельяненко Б.И. (1978) Околорудные гидротермальные изменения пород. –Недра, 215 с.

Павлишин В. І., Довгий С.О. (2013) Мінералогія: Підручник. Частина 2. Властивості мінералів. Генезис мінералів. Прикладна мінералогія. Діагностичні таблиці мінералів. – К.: КНТ, 528 с.

Павлишин В.И. (1983) Типоморфизм кварца, слюд и полевых шпатов в эндогенных образованиях. – Киев.: Наук. думка, 232 с.

Станкеев Е.А. (1986) Генетическая минералогия. Недра, 272 с.

Типоморфизм минералов и его практическое значение. Недра, 1972. –260 с.

Типоморфизм минералов: Справочник / Под ред. Л.В.Чернышевой. Недра, 1989. 560 с.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Бакуменко І. (2002) Мозаїчна будова кристалів та особливості розщеплених і скручених індивідів // Мінералогічний збірник 2002. № 52. Вип. 2. С. 34–46

Барабанов В.Ф. (1977) Генетическая минералогия. Недра, 327 с.

Бергер М.Г. (1986) Терригенная минералогия. Недра, 227 с.

Вальтер А.А., Рябенко В.А. (1977) Взрывные кратеры Украинского щита. Наук. думка, 154 с.

Вахромєєв С.А. Посібник з мінераграфії. – Львів: Вид-во Львівського у-ту, 1959. – 251 с.

Григорьев Д.П. (1961) Онтогения минералов. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 284 с.

Григорьев Д.П., Жабин А.Г. (1975) Онтогения минералов (индивиды). Наука, 339 с.

Жабин А.Г. (1979) Онтогения минералов (агрегаты). Наука, 275 с.

Занкович, Г.О. (2016). Геохімія флюїдів прожилково-вкрапленої мінералізації перспективно нафтогазоносних комплексів північно-західної частини Кросненської зони Українських Карпат [Автореф. дис. канд. геол. наук]. Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України. Львів.

Квасниця В.М., Квасниця І.В. (2018) Самородне золото України: передумови створення його кристалогенетичного визначника // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, N 4(83), с.6-18

Квасниця І.В., Квасниця В.М. (2020) Прості форми кристалів циркону із кристалічних порід Українського щита та їх морфологічні типи // Вісник КНУ. - Київ.- с.20 -27

Кульчицька Г., Герасимець І., Бельский В. (2018) Генезис скелетних і зональних псевдомонокристалів // Мінералогічний збірник. 2018. № 68. Вип. 1 с.24-29

Кульчицька Г., Черниш Д., Сєтая Д. (2022). Українська номенклатура мінералів. К.: Академперіодика. 547 с.

Курило М.В., Михайлов В.А. (2010) Рудні мінерали і методи їх вивчення. Методичні вказівки до лабораторних занять з курсу “Мінераграфія” для студентів геологічних і гірничих спеціальностей вищих навчальних закладів. – К.: Ніка-Центр, – 54 с.

Курило М.В., Михайлов В.А., Дубина О.В. (2014). Мінераграфія. Підручник. К.: Київський університет. 381 с.

Лазаренко Е.К. (1963) Основы генетической минералогии. – Львов: Изд-во Львов.ун-та, 410 с.

Лазаренко Е.К. (1979) Опыт генетической классификации минералов. – К: Наук.думка, 316 с.

Лазаренко Є.К. (1970) Курс мінералогії. – К: Вища школа, 1970. – 600с.

Латиш І.К. (2003) Рудні мінерали та їх діагностика – К.: Артек, 2003- 170 с.

Леммлейн Г.Г. (1973) Морфология и генезис кристаллов. Наука, 328 с.

Леммлейн Г.Г. (1948) Секториальное строение кристаллов. М.; Л, 40 с.

Матковський О.І., Пирогов Б.І. (2002) Прикладна мінералогія. – Львів: Видав. центр Львів. ун-ту, 286 с.

Павлишин В., Ворошилов Ю., Квасниця І. (2017) Мінералогія. Короткий курс для бакалаврів: підручник - К.: ВПЦ «Київський університет», 527 с.

Павлишин В.І., Довгий С.О. (2013) Мінералогія: Підручник. Частина 2. Властивості мінералів. Генезис мінералів. Прикладна мінералогія. Діагностичні таблиці мінералів. – К.: КНТ, 528 с.

Павлишин В.І., Матковський О.І., Довгий С.О. (2003, 2007, 2021) Генезис мінералів. Підручник. Перше видання: К.: ВПЦ "Київський університет", 2003. –672 с.; Друге видання: К.: КНТ, 2007. –556 с; Третє видання: Київ, 2021. – 676 с.

Платонов А.Н. (1976) Природа окраски минералов. Наук. думка, 264 с.

Попов В.А. (1984) Практическая кристалломорфология минералов. – С., 190 с.

Попов В.А. (2011) Практическая генетическая минералогия. Е., 167с.

Станкеев Е.А. (1986) Генетическая минералогия. Недра, 272 с.

Типоморфизм минералов и его практическое значение. Недра, 1972. –260 с.

Типоморфизм минералов: Справочник / Под ред. Л.В.Чернышевой. Недра, 1989. – 560 с.

Фекличев В.Г. (1966) Микрокристалломорфологический анализ. Наука, 199 с.

Фекличев В.Г. (1970) Микрокристалломорфологические исследования. Наука, 177 с.

Хейман Р.Б. (1979) Растворение кристаллов. Теория и практика. Недра, 272 с.

Хонигман Б. (1961) Рост и форма кристаллов. М.: ИЛ, 210 с.

Шафрановский И.И. (1957) Кристаллы минералов. Ч.1. Плоскогранные формы. Л., 200 с.

Шафрановский И.И. (1961) Кристаллы минералов. Кривогранные, скелетные и зернистые формы. М., 332 с.

Юшкин Н.П. (1971) Теория микроблочного роста кристаллов в природних гетерогенных растворах. – С., 52 с.

Berner, R.A., Schott, J.(1982): Mechanism of pyroxene and amphibole weathering; II, Observations of soil grains. Amer. J. Sci ., 282, 1214–1231

Hartman P. (1973) Crystal Growth: An Introduction.; American Elsevier Publishing Company, Inc..

Hochella Jr., M.F.(1995): Mineral surfaces; their characterization and their chemical, physical and reactive nature. in "Mineral Surfaces", D.J.Vaughan, R.A.D.Pattrick, eds., Min. Soc. Series , 5, Chapman & Hall, London, 17–60

Kitagawa R. (1998) Surface microtopography of illite crystals from different modes of occurrence. The Canadian Mineralogist, 1998, 36 (6): 1559–1567.

Kvasnytsia I. (2019) Microtopography of zircon crystal faces as essential component in modeling the mineral formation process // 18th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects.

Kvasnytsia I.V. (2021) Surface microtopography of pyroxene crystals**.** 20th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects. 2021

Lasaga A. C., Lüttge A. (2003) A model for crystal dissolution. European Journal of Mineralogy; 15(4): 603–615. doi: https://doi.org/10.1127/0935-1221/2003/0015-0603

Lasaga A. C., Luttge A. (2001) Variation of Crystal Dissolution Rate Based on a Dissolution Stepwave Model.Science 291, 2400-2404. DOI:10.1126/science.1058173

Patricia M. Dove, Nizhou Han, and James J. De Yoreo (2005) Mechanisms of classical crystal growth theory explain quartz and silicate dissolution behavior October 17, 2005 102 (43) 15357-15362 https://doi.org/10.1073/pnas.0507777102

Sangwal K. (1987) Etching of Crystals: Theory, Experiment, and Application. Amsterdam: North-Holland Physics Publishing

Sunagawa I. (2005) Crystals: Growth, Morphology, & Perfection.- Cambridge University Press DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511610349

Tomura, S., Kitamura, M. & Sunagawa, I.(1979) Surface microtopography of metamorphic white micas. Phys. Chem. Minerals 5, 65–81 https://doi.org/10.1007/BF00308169

White A. F., Brantley S. L., Eds., (1995) Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals, vol. 31 of Reviews in Mineralogy (Mineral Society of America, Washington, DC)

Zhang, Y., Walker, D., Lesher, C.E. (1989) Diffusive crystal dissolution. Contr. Mineral. and Petrol. 102, 492–513 https://doi.org/10.1007/BF00371090

Інтернет-ресурс Mineralogy Database https://www.mindat.org/

Інтернет-ресурс Introduction to Mineralogy by Dexter Perkins https://opengeology.org/Mineralogy/

Інтернет-ресурс Introduction to Petrology by Dexter Perkins https://opengeology.org/petrology/

Інтернет-ресурс Mineralogy Database http://webmineral.com/