Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Ю. О. Бєлоконь
В. О. Скачков
Г. В. Карпенко
М. С. Курінний

КРИСТАЛОГРАФІЯ ТА МІНЕРАЛОГІЯ

Методичні вказівки
до лабораторних робіт
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності G10«Металургія»
освітньо–професійних програм «Обробка металів тиском»,
«Металургія кольорових металів», «Металургія чорних металів»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № 7 від 29 грудня 2025 року

Запоріжжя
2025

УДК 548/549(076)
К825

Бєлоконь Ю. О., Скачков В. О., Карпенко Г. В., Курінний М. С. Кристалографія та мінералогія : методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності G10 Металургія освітньо–професійних програм «Обробка металів тиском», «Металургія кольорових металів», «Металургія чорних металів». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2025. 109 с.

Методичні вказівки містять теоретичні відомості та методику проведення роботи, що використовують для набуття практичних навичок, необхідних для аналізу кристалічної структури та кристалохімічних властивостей об’єктів досліджень, вимоги до оформлення звіту, контрольні запитання, переліки використаної і рекомендованої літератури.

Призначено для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності G10 Металургія освітньо–професійних програм «Металургія кольорових металів», «Металургія чорних металів», «Обробка металів тиском», які виконують лабораторні роботи з дисципліни «Кристалографія та мінералогія».

Рецензент
С. М. Григор’єв, д.т.н., професор кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Відповідальний за випуск
Ю. О. Бєлоконь, д.т.н., проф., завідувач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

ЗМІСТ

Вступ 4
Лабораторна робота 1. *Визначення елементів симетрії кристалів* 6
Лабораторна робота 2. *Вивчення простих форм кристалів* 9
Лабораторна робота 3. *Визначення символів (індексів) граней кристалів* 16
Лабораторна робота 4. *Визначення типів просторової решітки та її елементів* 22
Лабораторна робота 5. *Вивчення фізичних властивостей мінералів, форм мінеральних зерен агрегатів* 27
Лабораторна робота 6. *Вивчення морфологічних особливостей та властивостей самородних мінералів та сульфідів* 38
Лабораторна робота 7. *Вивчення морфологічних особливостей та властивостей оксидів та гідроксидів* 44
Лабораторна робота 8. *Вивчення мінералів солей безкисневих та кисневих кислот (галоїдів, карбонатів, сульфатів, вольфраматів, фосфатів)* 50
Лабораторна робота 9. *Вивчення морфологічних особливостей та властивостей силікатів* 56
Лабораторна робота 10. *Вивчення гірських порід за зовнішніми ознаками* 68
Додаток 84
Використана література 109
Рекомендована література 109

ВСТУП

Дисципліна «Кристалографія та мінералогія» входить до циклу професійної підготовки спеціальності G10 Металургія освітньо–професійних програм «Металургія кольорових металів», «Металургія чорних металів», «Обробка металів тиском» для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра.

Навчальна дисципліна «Кристалографія і мінералогія» продовжує фахову підготовку студента і базується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін «Фізика», «Хімія», «Матеріалознавство» та використовується при подальшому вивченнідисципліни «Технологія металов» та «Аддитивні технології».

Метою викладання дисципліни «Кристалографія та мінералогія» є ознайомлення студентів із закономірностями будови кристалічної речовини, формою та симетрією кристалів, типами кристалічних ґраток, отримання навичок визначення структури та опису кристалічних багатогранників, розуміння фізико–механічних властивостей мінералів, їх особливостей, опанування вмінь до класифікаціїмінералів та напрямами можливого їх промислового використання.

Завдання дисципліни полягає у наданні знань про закономірності внутрішньої будови кристалічної речовини та залежності їх фізичних і хімічних властивостей які використовують при виборі сировинних матеріалів для отримання металів та сплавів. Розглянути розділи кристалографії, кристалохімії та мінералогії.

Згідно з вимогами освітньої–професійної програми здобувачі вищої освіти мають досягти таких компетентностей та програмних результатів навчання.

Компетентності:

ЗК5. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК22. Здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем, компонентів і процесів в металургії на основі використання аналітичних методів і методів моделювання.

ЗК25. Усвідомлення характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів відповідної спеціалізації.

ЗК29. Здатність забезпечувати якість продукції.

ЗК34. Здатність застосовувати кращі світові практики, стандарти діяльності у обробці металів тиском.

Результати навчання:

ПР01. Концептуальні знання і розуміння фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації металургії, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

ПР04. Вміння виявляти, формулювати і вирішувати типові та складні й непередбачувані інженерні завдання і проблеми відповідно до спеціалізації, що включає збирання та інтерпретацію інформації (даних), вибір і використання відповідних обладнання, інструментів та методів, застосування інноваційних підходів

ПР 10. Розуміння особливостей матеріалів, що застосовуються, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації.

ПР11. Вміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань відповідної спеціалізації металургії.

ПР13. Вміння застосовувати стандарти інженерної діяльності відповідно до спеціалізації.

Кожна лабораторна робота починається з викладу коротких відомостей, необхідних для виконання роботи. Приступаючи до виконання лабораторної роботи, здобувач повинен заздалегідь, під час підготовки до роботи, ознайомитися з методичними матеріалами та теоретичнми відомостями. В кожній лабораторній роботі формулюються завдання, надаються рекомендації та зазначається форма виконання завдання. Для закріплення знань під час підготовки матеріалу в усіх лабораторних роботах запропоновано контрольні запитання.

Попередній звіт з виконання завдань лабораторного заняття планується формувати в термін до наступного лабораторного заняття. Підсумковий звіт за курс являтиме собою портфоліо, що відображатиме цілісне уявлення про курс.

.

Лабораторна робота 1. *Визначення елементів симетрії кристалів*

Мета: визначення елементів обмеження, симетрії кристалів за їх сукупністю – класу симетрії, сингонії та категорії.

Матеріали та обладнання: набір дерев'яних макетів кристалів простих форм; таблиці класів симетрії кристалів.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

- ✓ Що таке симетрія кристалів? Які основні елементи симетрії вирізняють у кристалах?
- ✓ Як визначається площина симетрії (Р)? Скільки площин симетрії може бути в кристалі?
- ✓ Що таке вісь симетрії (L)? Які порядки осей симетрії можливі в кристалах?
- ✓ Як перевірити наявність центру симетрії (С) у кристалі?
- ✓ Які категорії симетрії кристалів існують? Як вони відрізняються за елементами симетрії?
- ✓ Які сингонії належать до нижчої, середньої та вищої категорій?
- ✓ Як формула симетрії відображає елементи симетрії кристала? У якому порядку записуються осі симетрії?
- ✓ Чим відрізняється порядок запису формули симетрії для кристалів кубічної сингонії?
- ✓ Як пов’язані площини та осі симетрії в кристалі?
- ✓ Яке значення має таблиця 1.1 для визначення класу симетрії кристала?

Теоретична частина

Під симетрією розуміється закономірна повторюваність у просторі всіх частин кристала. Вона визначається елементами симетрії: площиною, віссю та центром.

Площиною симетрії (Р) називається уявна площина, яка поділяє кристал на дві дзеркально рівні частини. Площини симетрії відшукують шляхом прове–дення їх на поверхні кристалів крейдою, перевіряючи, чи є отримані половинки рівними і чи є вони дзеркальне відображення один одного. Кількість площин симетрії можливе у кристалів від 1 до 7 або 9.

Віссю симетрії (L) називається уявна пряма, при обертанні навколо якої на 360 ° закономірно повторюються всі частини кристала певну кількість разів. Кількість повторень визначає порядок осі симетрії. У кристалів можуть бути осі другого (у кількості до шести), третього (до чотирьох), четвертого (до трьох) та шостого (одна) порядків.

Центром симетрії (С) називається уявна точка, що знаходиться всередині кристала, в якій, перетинаючи, діляться навпіл всі прямі, що з'єднують однаково розташовані точки на поверхні кристала.

Методика проведення роботи.

Вивчення геометрії кристала починають з визначення наявності та кіль–кості площин симетрії Р, вісі симетрії L та встановлення у кристала центру си–метрії. Такий порядок вивчення зручний, оскільки всі елементи симетрії тісно взаємопов'язані та виявлення наприклад, всіх площин кісток симетрії допомагає знайти осі симетрії.

У деяких складних кристалів нерівність сусідніх особливо коротких ребер мало помітно і можна помилково провести площині симетрії там, де їх зовсім немає. Іноді, проводячи площини симетрії за цими гранями і ребрам, здобувачі–забувають про площину, що часто йде в перпендикулярному напрямку.

При описі площин симетрії у складних здвоєних кристалів (у яких кожна грань нібито заломлена – дитригональна, дитетрагональна, дигексагональна призма, піраміда або дипіраміда) треба бути особливо уважними, тому що для збереження рівності та паралельності отриманих половинок площині симетрії в них можна проводити лише за ребрами, а не за серединами граней. Необхідно врахувати, що є низка кристалів, у яких зовсім немає площин симетрії.

Осі симетрії завжди збігаються з лініями перетину площин симетрії і ма–ють порядок, що відповідає числу площин, які перетинаються. Однак, у деяких кристалах можлива наявність осей за відсутності площин симетрії.

Центр симетрії присутній у кристалі в тому випадку, коли в нього всі грані попарно рівні та паралельні. Це легко перевірити, укладаючи кристал по черзі гранями всіх типів на площину столу. При цьому зверху паралельно площині столу повинна розташуватися така ж за формою і розмірами грань.

Знайдену сукупність елементів симетрії кристалів необхідно порівняти з табл. 1.1. Для цього здобувачі мають твердо пам'ятати принцип класифікації кристалів, назви семи кристалографічних сингоній і розподіл їх за категоріями, засвоїти характеристику кожної з них. Усі види симетрії поділяють на три категорії ~ нижчу, середню та вищу.

У *нижчу категорію* входять кристали, які не мають осей симетрії вище другого порядку. Вони поділяються на три сингонії: триклінну включає клас кристалів без симетрії і має лише центр; моноклинну – елементи симетрії, що входять до неї кристалів, поодинокі. У формулі симетрії немає коефіцієнтів перед осями та площинами; ромбічну – у формулах симетрії кристалів, що входять до неї, коефіцієнти містяться перед осями або площинами.

Таблиця 1.1 – Розподілення класів(видів) симетрії за сингоніями та категоріями

Категорія	Сингонія (система)	Класи (види) симетрії						
		Примітивний	Центральний	Планальний	Аксіальний	Планаксіальний	Інверсійно–примітивний	Інверсійно–планальний
Нижча	триклінна	1	2 C					
	моноклинна			3 P	4 L_2	5 L_2PC		
	ромбічна			6 $L_2 2P$	7 $3L_2$	8 $3L_2 3PC$		
Середня	тригональна	9 L_3	10 L_3C	11 $L_3 3P$	12 $L_3 3L_2$	13 $L_3 3L_2 3PC$		
	тетрогональна	14 L_4	15 L_4PC	16 $L_4 4P$	17 $L_4 4L_2$	18 $L_4 4L_2 5PC$	19 L_{14}	20 $L_{14} 2L_2 2P$
	гексогональна	21 L_6	22 L_6PC	23 $L_6 6P$	24 $L_6 6L_2$	25 $L_6 6L_2 7PC$	26 $L_{16}=L_3P$	27 $L_{16} 3L_2 3P=L_3 3L_2 4P$
Вища	кубічна	28 $4L_3 3L_2$	29 $4L_3 3L_2 3PC$	30 $4L_3 3L_2 6P$	31 $3L_4 4L_3 6L_2$	32 $3L_4 4L_3 6L_2 9PC$		

Середня категорія характеризується наявністю у кристалів однієї осі симетрії найвищого найменування (третього, четвертого чи шостого порядку).

У ній також виділяються три сингонії: *тритональна* – кристали мають одну вісь симетрії третього порядку L^3; *тетрагональна* – є одна вісь четвертого порядку L^4; *гексагональна* – одна вісь шостого порядку L^6.

Вища категорія включає одну лише кубічну сингонію, яка характеризується присутністю у кристалів чотирьох осей симетрій третього порядку $4L^4$

Вимоги до змісту та оформлення звіту.

- При оформленні кожного завдання надавати стислі структуровані тексти;
- Не соромтесь використовувати рисунки, таблиці, графіки тощо. Додатково вітаються засоби візуалізації, створені за допомогою цифрових сервісів.
- Визначивши всі елементи симетрії у кристала і порахувавши їх з табл.1.1., необхідно встановити належність кристала до певного класу тієї чи іншої сингонії, категорії, а потім занести в лабораторний зошит отримані дані і схематично замалювати моделі кристала.
- Формулу симетрії потрібно записати в загальноприйнятому порядку на початку осі симетрії вищого порядку (L^6, L^4, L^3), потім кількість та найменування осей нижчого порядку (L^2), кількість площин і вказати наявність центру симетрії

Лабораторна робота 2. *Вивчення простих форм кристалів*

Мета: вивчити прості форми кристалів та їх комбінації, навчитися визначати всі прості форми кристалів.

Матеріали та обладнання: набір моделей кристалів різних форм та сингоній.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

- ✓ Що таке проста форма кристала? Чим вона відрізняється від комбінації простих форм?
- ✓ Які прості форми характерні для нижчої та середньої категорій симетрії? Назвіть їх.
- ✓ Як класифікуються призми та піраміди за формою основи?
- ✓ Що таке моноедр, пінакоїд і діедр? У яких сингоніях вони зустрічаються?
- ✓ Які особливості тетраедра в різних сингоніях (ромбічній, тетрагональній, кубічній)?
- ✓ Які прості форми характерні для кубічної сингонії? Як утворюються ускладнені форми?
- ✓ Що таке трапецоедр і скаленоедр? У яких сингоніях вони зустрічаються?
- ✓ Як визначити просту форму кристала за його зовнішнім виглядом і елементами симетрії?

✓ Яке значення таблиць 2.1 і 2.2 для визначення простих форм у різних сингоніях?
✓ Як пов'язані елементи симетрії кристала з типами простих форм, які він може мати?

Теоретична частина


Існують прості та складні форми кристалів або комбінації простих форм. Якщо у кристала всі грані однакової форми та одного розміру, він є однією простою формою.

Якщо у кристала декілька типів різних граней, він представляє собою комбінацію з декількох простих форм. Таким чином, проста форма – це сукупність однакових граней у кристалі. Скільки типів граней у одного кристала, стільки в ньому і простих форм.

У нижчій та середній категоріях симетрії зустрічаються такі прості форми (табл. 2.1.):

Моноедр – складається з однієї грані будь–якої форми (наприклад, основа будь–якої піраміди), що не повторюється в кристалі.

Пінакоїд – складається з двох однакових і паралельних граней (наприклад, дві грані, що закривають будь–яку призму).

Діедр – представлений двома однаковими, але не паралельними гранями.

Призма – складається з кількох (не менше трьох) однакових граней, що перетинаються в паралельних ребрах.

Розрізняються формою основи або перерізу:

ромбічна – у перерізі ромб;
тригональна – у перерізі рівносторонній трикутник;
тетрагональна – у перерізі чотирикутник (квадрат);
гексагональна – у перерізі правильний шестикутник.

Якщо всі грані призми заломлені (подвоєні), вона називається дитригональною, дитетрагональною, дигексагональною залежно від вихідної форми.

Піраміда – складається з декількох (не менше трьох) однакових граней, що перетинаються в одній спільній вершині. За формою основи піраміди діляться аналогічно призмам.

Дипіраміда (або біпіраміда) – складається з двох однакових пірамід, складених основами. За формою поділяються, як і піраміди, з яких вони складаються: ромбічна, тригональна, тетрагональна, гексагональна і можуть також, ускладнюючись, давати дітригональну, дітетрагональну, дігексагональну діпіраміди.

Тетраедр – складається з чотирьох однакових граней, по три грані перетинаються в кожній із чотирьох вершин. Відомо три тетраедри – ромбічний, тетрагональний і кубічний. Вони відрізняються один від одного формою граней, набором елементів симетрії та належать до різних сингоній.

У ромбічного тетраедра грані мають форму різнобічного трикутника, у тетрагонального – рівнобедреного, у кубічного – рівностороннього. Кубічний тетраедр розглядається серед простих форм вищої категорії.

Трапецоедр – нагадує діпіраміду, грані якої мають форму, близьку до трапеції. Розрізняють тригональний, тетрагональний і гексагональний трапецоедри.

Скаденоедр трапляється у двох видах – дітригональний, що нагадує дітригональну діпіраміду, у якої верхня частина повернута відносно нижньої на 60°; тетрагональний – схожий на тетрагональний тетраедр, у якого всі грані заломлені (подвоєні).

Ромбоедр – складається з шести однакових ромбічних граней; його можна ще уявити як стиснутий по осі симетрії третього порядку куб(кожна квадратна грань перетворюється на ромбічну).

У кубічній сингонії (табл. 2.2.) розрізняють вихідні та ускладнені прості форми, що утворюються ускладненням вихідних.

Назви вихідних форм визначаються кількістю граней.

1. *Тетраедр* (кубічний) складається з чотирьох граней, що являють собою однакові рівносторонні трикутники.

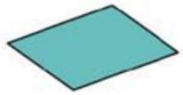
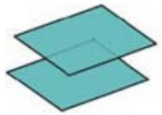
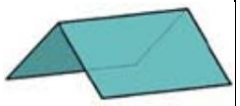
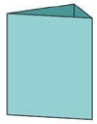
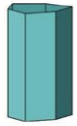
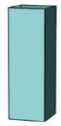
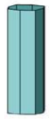
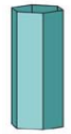
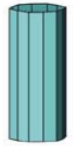
Шляхом ускладнення з тетраедра утворюються тригонтритетраедр (якщо на кожній грані тетраедра утворюється три додаткові грані трикутної форми); тетрагонтритетраедр (якщо три додаткові грані мають форму чотирикутника); пентагонтритетраедр (три додаткові грані – п'ятикутники); гексатетраедр (додаткових граней на гранях тетраедра не три, а шість).

2) *Октаедр* складається з восьми однакових граней (нагадує тетрагональну діпіраміду, форма граней не рівнобедрений, а рівнобічний трикутник); є початковою формою для інших форм, що утворюються також ускладненням граней: тригонтріоктаедр, тетрагонтріоктаедр, пентагонтріоктаедр, гексаоктаедр.

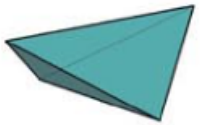
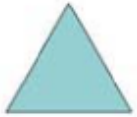
3. *Гексаедр* (куб) складається з шести однакових квадратних граней. Ускладненою формою його є тетрагексаедр (на кожній грані гексаедра утворюються чотири додаткові грані трикутної форми).

3 *Додекаедр* – проста форма, що складається з дванадцяти однакових граней. Розрізняють ромбододекаедр, у якого всі грані мають форму ромба, і пентагондодекаедр, форма граней – п'ятикутники. Останній ускладнюється заломленням (подвоєнням) граней і утворює дідодекаедр.

Таблиця 2.1 – Прості форми кристалів.

Назва форм	Нижча категорія систем			Середня категорія систем					
	Триклинна L i P	Моноклинна L^2 або P=1	Ромбічна L^2 або P>1	Тригональна L^3=1		Тетрагональна L^4=1		Гексагональна L^6=1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Моноедр		+	+	+	+	+	+	+	+
Пінакоїд		+	+	+	+	+	+	+	+
Діедр									
Призма		+							
Піраміда			 $L^2 2P$	 $L^3 3P$	 $L^3 3P$	 $L^4 4P$	 $L^4 4P$	 $L^6 6P$	 $L^6 6P$
Діпірміда			 $3L^2 3PC$	 $L^3 3L^2 4P$	 $L^3 3L^2 4P$	 $L^4 4L^2 5PC$	 $L^4 4L^2 5PC$	 $L^6 6L^2 7PC$	 $L^6 6L^2 7PC$

Продовження таблиці 2.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Трапецоедр				 $L^3 3L^2$		 $L^4 4L^2$		 $L^6 6L^2$	
Скаленоедр					 $L^3 3L^2 3PC$		 $3L^2 2P$		
Тетраедр			 $3L^2$			 $3L^2 2P$			
Ромбоедр				 $L^3 3L^2 3PC$					
Форма поперечного перетену									

Таблиця 2.2 – Прості форми кубічної системи.

Назви форм	Вихідні форми	Ускладнені форми з числом граней					
		Подвоєні	Потроєні			Учетвертений	Ушестеренний
Тетраедр	 $4L^3 3L^3 6P$		 Тригонтри–тетраедр $4L^3 3L^3 6P$	 Тетрагонтритетраедр $4L^3 3L^3 6P$	 Пентагон–тритетраедр $4L^3 3L^3$		 Гексатетраедр $4L^3 3L^3 6P$
Гексаедр	 $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$					 Тетрагексаедр $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$	
Октаедр	 $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$		 Тригонтри–октаедр $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$	 Тетрагонтриоктаедр $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$	 Пентагон–триоктаедр $3L^4 4L^3 6L^2$		 Гексаоктаедр $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$
Пентагон–додекаедр	 $4L^3 3L^2 3PC$	 Ді–додекаедр $4L^3 3L^2 3PC$					
Ромбо–додекаедр	 $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$						

Методика проведення роботи.

Щоб правильно назвати всі прості форми в межах одного або кількох кристалів, необхідно визначити всі елементи симетрії кристала і встановити належність кристала до тієї чи іншої кристалічної системи (сингонії).

Визначивши елементи симетрії у виданих викладачем моделях кристалів (3–5), студенти встановлюють приналежність кожній з них тому чи іншому класу(виду) симетрії, а потім сингонії та категорії. Після цього потрібно дати назви простим формам.

Якщо кристал за елементами симетрії належить до нижчої чи середньої категорії, слід скористатися табл. 2.1., а якщо до вищої – табл. 2.2.

У табл. 2.1. по вертикалі вказані назви всіх простих форм, характерних нижчої та середньої категорій симетрії, а по горизонталі – сингонія, в якій дана проста форма зустрічається. У клітинах дано замальовки простих форм, хрестиком вказується, у яких ще сингоніях зустрічається зображена проста форма.

Вимоги до змісту та оформлення звіту.

У звіт з лабораторної роботи здобувачі складають у вигляді табл. 2.3.

До таблиці вносять результати вивчення мінералів солей безкисневих та кисневих кислот.

Таблиця 2.3 – Характеристика кристалів.

Номер моделі	Формула симетрії	Вид симетрії	Сингонія	Зовнішній вид кристала (замалювати)	Кількість простих форм	Найменування простих форм

Звітуючи за виконану роботу, здобувачі повинні вміти без таблиць визначити назву будь–якої простої форми або розібрати комбінацію з простих форм.

Лабораторна робота 3. *Визначення символів (індексів) граней кристалів*

Мета: навчатися визначати індекси граней для кристалів різних сингоній.

Матеріали та обладнання: набір моделей кристалів різних сингоній; таблиці класів симетрії кристалів; вимірювальні лінійки.

.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

- ✓ Що таке кристалографічна система координат? У чому її логіка? Як розташовуються й позначаються кристалографічні осі?
- ✓ Як позначаються кути між осями?
- ✓ Як визначати символи площин кристалічної решітки?
- ✓ Дайте визначення закону раціональних відносин.
- ✓ Що таке символ грані?
- ✓ Як позначаються символи граней простих форм?
- ✓ Скільки координатних систем використовується для опису кристалів?
- ✓ Чим відрізняється установка кристалів у кубічній і гексагональній сингоніях?
- ✓ Назвіть символи граней на прикладі гексаедра

Теоретична частина

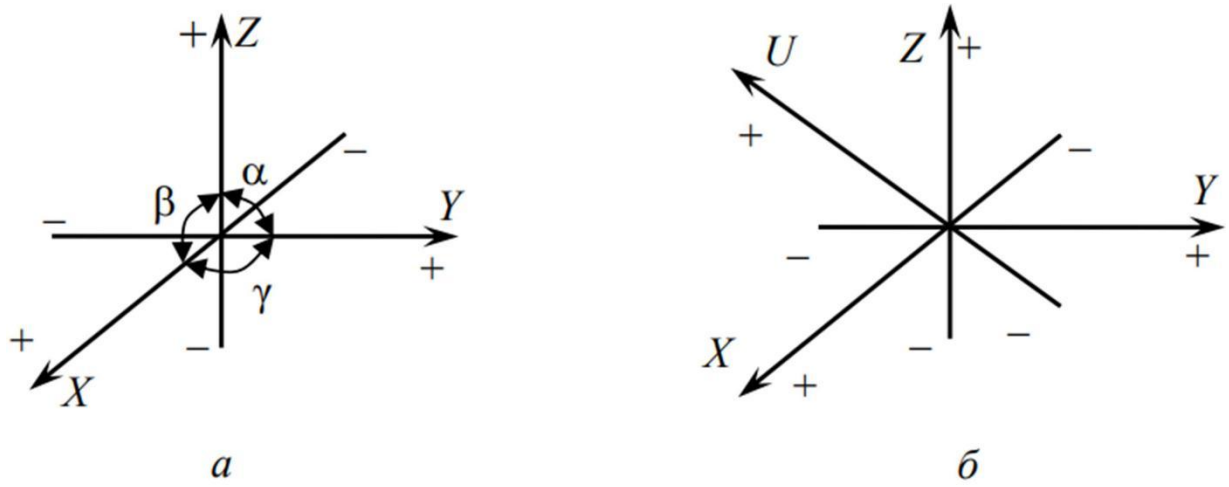
Для повної характеристики кристалічних багатогранників необхідно мати точні відомості про взаємне просторове розташування граней у кристалах. Для цього використовують кристалографічні символи, що визначають положення будь–якої грані щодо деяких координатних осей і деякої грані, прийнятої за одиничну (масштабну). Вибір кристалографічних осей і одиничної грані називається установкою кристалів.

Для кристалів тригональної та гексагональної сингоній приймають осі X, Y, U, Z, а для решти сингоній – X, Y, Z.

У кристалографії прийнято праву систему координат, тобто позитивними напрямками вважаються: для осі X – уперед на спостерігача, Y – праворуч від спостерігача, Z – угору (рис. 3.1).

Осі координат розташовують відповідно до симетрії кристалів або за осями симетрії, або за нормалями до площин, а якщо їх немає – за ребрами кристалічного багатогранника (дійсними або можливими).

Одиничну грань приймають таким чином, щоб вона перетинала або всі координатні осі, або максимальне їх число. При цьому масштабні відрізки, що відсікаються нею, приймають за одиниці виміру за відповідною координатною віссю.



а – трикоординатна система; б – чотири координатна система

Рисунок 3.1 – Напрямки кристалографічних осей у системах

Для кожної сингонії характерними є кути між координатними осями (між Z і Y – α, між X і Z – β, між X і Y – γ) і масштабні відрізки (одиничні параметри) на координатних осях (на осі X відрізок a; на Y – b; на осі Z – c) (рис. 3.1). У таблиці 3.1 наведено правила встановлення кристалів відповідно до їхніх сингоній.

Вчення про символи граней ґрунтується на одному з найважливіших законів кристалографії – законі раціональності відносин параметрів (закон Гаюї).

Закон Гаюї свідчить: подвійні співвідношення параметрів, що відтинаються двома будь–якими гранями кристала на трьох його ребрах, що перетинаються, дорівнюють співвідношенням цілих і порівняно малих чисел. Для зображеного на рис. 3.2 кристала ці співвідношення мають вигляд:

$$\frac{OA_x}{OA_1}:\frac{OB_x}{OB_1}:\frac{OC_x}{OC_1}=p:q:r.$$

Наявність цілих чисел пояснюється ґратчастою будовою кристалів. Ребра кристала відповідають рядам кристалічної решітки, грані – плоским сіткам. Плоскі сітки (грані), перетинаючи три ряди решітки (ребра), утворюють на них відрізки (параметри), які містять цілі числа проміжків між вузлами решітки (елементарними частинками).

Закон Гаюї пов'язує зовнішню форму кристалів з їхньою внутрішньою ґратчастою будовою. Для зручності математичних перетворень користуються зворотними величинами відношень параметрів, що отримали назву індексів Міллера:

$$\frac{OA_x}{OA_1}:\frac{OB_x}{OB_1}:\frac{OC_x}{OC_1}=\frac{1}{p}:\frac{1}{q}:\frac{1}{r}=h:k:l.$$

Таблиця 3.1 – Встановлення кристала різних сингоній

Сингонія	Вибір координатних осей	Координатні кути та одиничні параметри	Елементарна примітивна комірка
Триклинна	За осі X, Y, Z приймають три ребра, які перетиналися б під кутами, ближчими до 90°. За вертикальну вісь приймають ребро найбільш розвиненої зони	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$ $a \neq b \neq c$	Комбінація трьох пінакоїдів – косокутний паралелепіпед
Моноклінна	Вісь Z – L2 або⊥ P; X і Y – два ребра, перпендикулярні до осі Y; X – уперед похило донизу, Z – вертикально вздовж ребра найрозвиненішої зони	$\alpha = \gamma = 90°$ $\beta \neq 120°$ $a \neq b \neq c$	Комбінація трьох пінакоїдів – прямокутний паралелепіпед
Ромбічна	X, Y – 2L2 або нормалі до 2P, Z – L2	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$ $a \neq b \neq c$	Комбінація трьох пінакоїдів – "цеглинка"
Тетрагональна	Z – L4; X, Y – 2L2, або нормалі до 2P (під 90°), за їх відсутності – два перпендикулярні ребра під кутом 90°	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$ $a = b \neq c$	Тетрагональна призма з пінакоїдом
Тригональна	Z – L3; X, Y, U – 3L2 або нормалі до 3P, за їх відсутності – три перпендикулярні до осі Z ребра під кутами 60°.	$\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$ $a = b \neq c$	Ромбоедр
Гексагональна	Z – L6 (Li6); X, U, Z – 3L2 або нормалі до 3P	$\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$ $a = b \neq c$	Гексагональна призма з пінакоїдом
Кубічна	X, Y. Z – 3L4 (3Li4), за їх відсутності – 3L2	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$ $a = b = c$	Октаедр

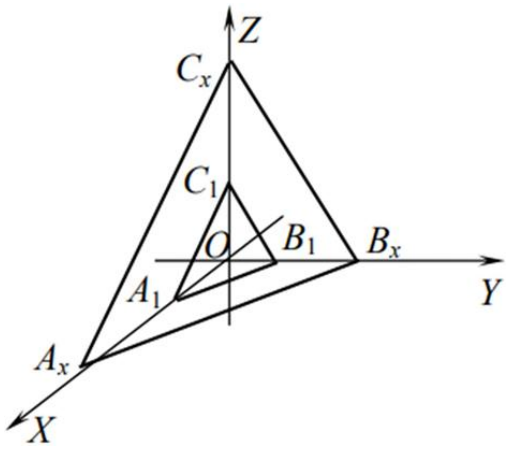


Рисунок 3.2 – Параметри граней кристала та кристалографічні осі

Таким чином, будь–яку грань у кристалі можна охарактеризувати трьома цілими і взаємно простими числами (h, k, l) – індексами граней, що представляють відношення трьох дробей, чисельники яких є параметрами одиничної грані (OA_1, OB_1, OC_1), а знаменники відповідають параметрам визначуваної грані (OA_x, OB_x, OC_x).

Після математичних перетворень індекси як подвійні параметри мають вигляд невеликих цілих чисел. Але слід пам'ятати, що чим більший параметр грані, тобто чим більший відрізок відтинає грань на координатній осі, то менший індекс вона має по даній осі.

Умовні позначення символів: грані – (hkl), або (hkil), де h – індекс по осі X, k – по осі Y, i – по осі U, l – по осі Z.

Для прикладу знайдемо індекс грані $A_xB_xC_x$. Параметри виражаємо числом проміжків між елементарними частинками:

$$\frac{OA_1}{OA_x}:\frac{OB_1}{OB_x}:\frac{OC_1}{OC_x}=\frac{2}{4}:\frac{2}{3}:\frac{1}{2}=\frac{2\cdot 3:2\cdot 4:1\cdot 12}{12}=6:8:12=3:4:6.$$

Індекс грані $A_xB_xC_x$ = (346) (читається три – чотири – шість, а не триста сорок шість).

Якщо грань перетинає будь–яку вісь з боку від'ємного значення (мінуса), над індексом цієї осі ставиться знак мінус (h k l). Символ одиничної грані завжди (111), незалежно від того, які відрізки, рівні чи нерівні, відсікає вона на координатних осях. Якщо грань, у тому числі й одинична, паралельна одній або двом координатним осям, то індекс, що відповідає даним осям, дорівнює нулю.

Кожне сімейство площин з індексами hkl характеризується своєю міжплощинною відстанню d, тобто відстанню між двома сусідніми паралельними площинами, яка вимірюється в нм або ангстремах Å (1Å=0,1нм). Зв'язок параметрів елементарного осередку (a, b, c і α, β, γ) та індексів граней виражається формулами відповідно до сингонії кристала.

Для кристалів кубічної сингонії (гранат, флюорит, пірит тощо) залежність параметрів виражається формулою:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

Параметр елементарної комірки дорівнюватиме:

$$a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

Міжплощинна відстань визначиться рівнянням:

$$d = a/\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

Для тетрагональної сингонії (рутил, циркон, скаполіт тощо):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

Для гексагональної сингонії (апатит, берил):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{3}{4}\frac{h^2 + hk + l^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

Для тригональної сингонії (кварц, корунд, кальцит, гематит тощо):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2 + k^2 + l^2)\sin^2\alpha + 2(hk + kl + hl)(\cos^2\alpha - \cos\alpha)}{a^2(1 - 3\cos^2\alpha + 2\cos^3\alpha)}$$

Для ромбічної сингонії (олівін, анортит, кордієрит, андалузит тощо):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

Для моноклінної сингонії (діопсид, рогова обманка, гіпс тощо):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2\sin^2\beta} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2\sin^2\beta} - \frac{2hl\cos\beta}{ac\sin^2\beta}$$

Для триклінної сингонії (плагіоклаз, родоніт, кіаніт тощо):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{\frac{h^2}{a^2}\sin^2\alpha + \frac{k^2}{b^2}\sin^2\beta + \frac{l^2}{c^2}\sin^2\gamma + \frac{2hk}{ab}(\cos\alpha - \cos\beta - \cos\gamma)}{1 - \cos^2\alpha - \cos^2\beta - \cos^2\gamma + 2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma} +$$

$$+\frac{\frac{2kl}{bc}(\cos\beta\cos\gamma-\cos\alpha)+\frac{2lh}{ca}(\cos\gamma\cos\alpha-\cos\beta)}{1-\cos^2\alpha-\cos^2\beta-\cos^2\gamma+2\cos\alpha\cos\beta\cos\gamma}$$

Методика проведення роботи

Визначити сингонію кристала, провести його встановлення відносно кристалографічних осей відповідно до правил, виконати креслення фігури з нанесенням кристалографічних осей. Записати назву фігури, визначити формулу симетрії, вказати вид і клас симетрії, сингонію та категорію кристала.

Вибравши одиничну грань у кристалі, провести визначення індексів усіх граней (індексів Міллера) для досліджуваного кристала.

Вимоги до змісту та оформлення звіту.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити визначення сингонії досліджуваного кристала та виконання його встановлення відносно кристалографічних осей (X, Y, Z або X, Y, U, Z залежно від сингонії) відповідно до правил, наведених у таблиці 3.1. Необхідно вибрати одиничну грань і розрахувати індекси Міллера для всіх граней кристала. У звіті слід викласти отримані дані: назву кристалічної фігури, формулу симетрії, вид і клас симетрії, сингонію та категорію кристала. Формулу симетрії потрібно записати в загальноприйнятому порядку: спочатку вказати осі симетрії вищого порядку (L6, L4, L3), потім кількість і позначення осей нижчого порядку (L2), кількість площин симетрії, і наостанок зазначити наявність центру симетрії. Для кристалів кубічної сингонії порядок змінюється: спочатку записуються осі третього порядку (L3), а потім четвертого (L4). Також необхідно включити до звіту схематичне креслення моделі кристала з нанесенням кристалографічних осей і позначенням граней, включаючи одиничну грань.

Лабораторна робота 4. *Визначення типів просторової решітки та її елементів*

Мета: визначення типів кристалічних решіток та елементів, що їх характеризують.

Матеріали та обладнання: макети кристалічних решіток; вимірювальне приладдя.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

- ✓ Назвіть елементи просторової решітки.
- ✓ Що таке елементарна комірка? Назвіть їхні типи та параметри для різних сингоній
- ✓ Перелічіть типи решіток Браве.
- ✓ Як визначається число формульних одиниць, що припадають на одну елементарну клітинку?
- ✓ Які елементи симетрії просторової решітки є складними? Дайте їхнє визначення.
- ✓ Що таке гвинтові осі симетрії та яких типів вони бувають?
- ✓ Що визначає координаційне число? Якими параметрами іонів воно визначається?
- ✓ Назвіть координаційні числа та відповідні їм координаційні поліедри.

Теоретична частина

Просторова решітка являє собою систему точок, розташованих у вершинах рівних, паралельно орієнтованих і суміжних по гранях паралелепіпедів, що заповнюють простір. Вузли просторової решітки розташовуються в одній площині у вигляді геометрично правильної плоскої сітки, яка являє собою сукупність рядів. Вузли розташовані у вершинах системи рівних, паралельно орієнтованих паралелограмів (рис. 4.1).

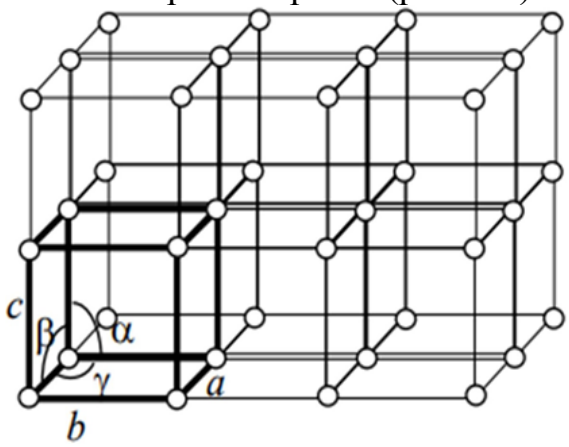
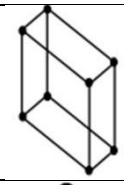
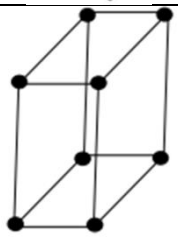
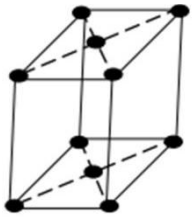
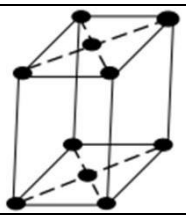
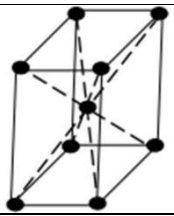
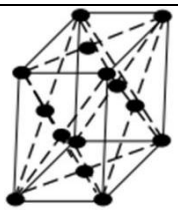
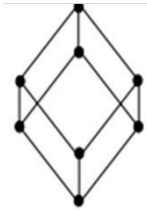
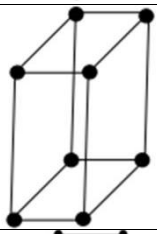
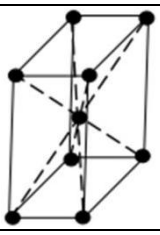
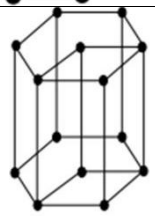
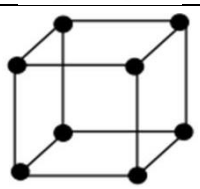
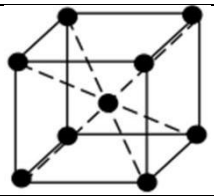
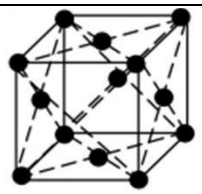


Рисунок 4.1 – Просторова решітка з елементарною коміркою

Елементарні паралелепіпеди, сукупність яких утворює просторову решітку, називаються її елементарними комірками.

Три кути між напрямками, які приймають за основні осі (α, β, γ), і три відрізки (a, b, c) відстаней між вузлами уздовж цих осей називаються параметрами осередку. Характеристика параметрів елементарної комірки для кристалів різних сингоній наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Типи решіток Браве

Сингонія	Тип решітки Браве			
	P	C	J	F
Триклинна				
Моноклінна				
Ромбічна				
Тригональна (ромбоедрична)				
Тетрагональна				
Гексагональна				
Кубічна				

Початок координат, тобто вершину елементарного паралелепіпеда просторової решітки, можна уявити собі в будь–якій точці кристалічної структури, але зазвичай його поміщають у центрах тяжіння тих матеріальних часток (атомів, іонів, молекул), які є вузлами просторової решітки.

Французький учений О. Браве довів, що існує чотирнадцять типів просторових решіток, елементарні комірки яких поділяються відповідно за сімома сингоніями. Ці комірки бувають примітивними (P), усі вузли яких розташовані тільки у вершинах елементарного паралелепіпеда, і складними – вузли розміщені не тільки у вершинах елементарних комірок, а й на гранях, ребрах і в об'ємі (табл. 4.1).

Чотирнадцять типів решіток Браве відображають усі можливі симетричні розташування точок у просторі. Складні комірки бувають гранецентрованими (F), базоцентрованими (C) і об'ємноцентрованими (J).

Для визначення структури кристалів необхідно визначити кількість атомів кожного хімічного елемента, що припадає на одну елементарну комірку – число формульних одиниць (Z). Такий підрахунок можливий на просторових моделях кристалів. Початок координат під час підрахунку зазвичай суміщають із центром того чи іншого атома або з центром координаційного багатогранника, хоча будь–яка точка в об'ємі структури може бути з цією метою прийнята за вихідну. Кількість атомів, що припадають на один елементарний осередок, легко визначається на підставі даних, наведених на рис. 4.2.

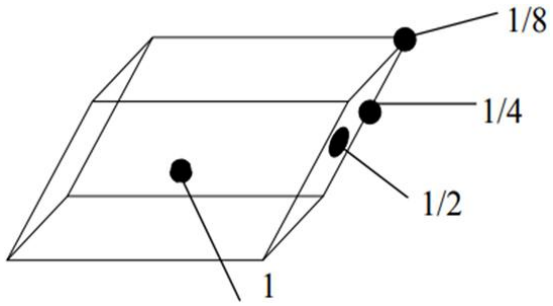


Рисунок 4.2 – Підрахунок кількості атомів, що припадають на одну елементарну комірку

Елементи симетрії кристалічних багатогранників, описуються за допомогою таких елементів симетрії, як осі симетрії, площини симетрії та інверсійні осі. Оскільки кристалічна решітка мається на увазі нескінченною (через надзвичайно малі відстані між атомами порівняно з величиною кристала), то й елементи її симетрії повторюються нескінченно. До відкритих елементів симетрії належать:

1) трансляції;
2) гвинтові осі симетрії;
3) площини ковзного відображення.

Трансляція (T) – поступальне перенесення деякого розташування (системи точок, ліній фігури, атомів тощо), під час якого це розташування суміщається саме собою. Напрямки, під час переміщення вздовж яких на певний відрізок

(крок трансляції) відбувається суміщення, називаються осями переносів або осями трансляції. Наявність трансляцій – найбільш характерна властивість розташування атомів у кристалі. Їхню величину і напрямок характеризують за допомогою вектора, який також називається трансляцією. Під час переміщення вектора паралельно самому собі в його кінцях опиняються абсолютно однакові точки.

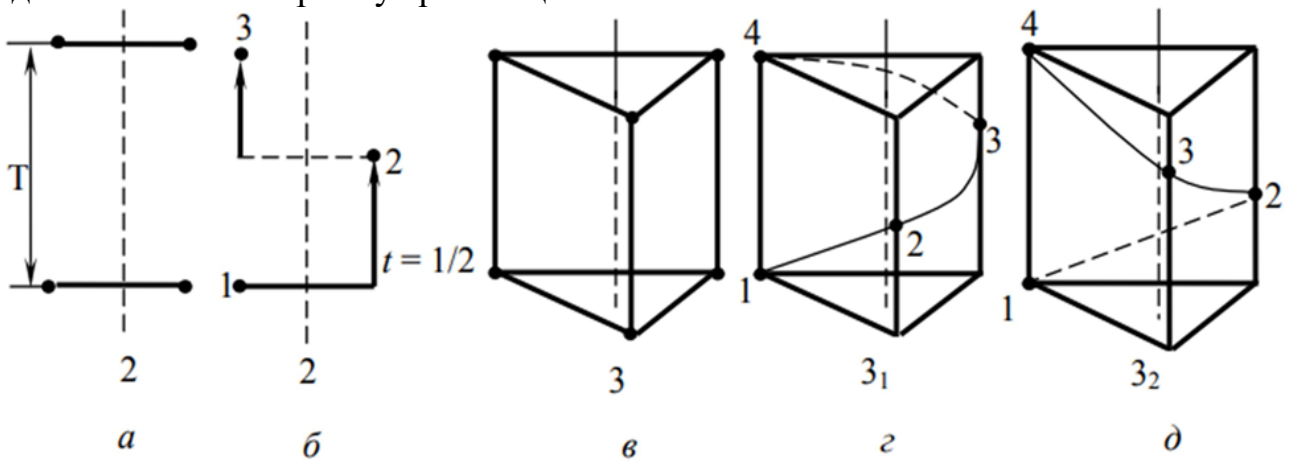
Гвинтові осі симетрії – складні осі. Під час симетричних перетворень уздовж гвинтових осей суміщення точок здійснюється їхнім переміщенням на певний відрізок уздовж осі й одночасно поворотом на кут 360° /n, де n може дорівнювати 2, 3, 4 або 6. Кристалічні решітки можуть мати, таким чином, гвинтові осі другого, третього, четвертого і шостого порядків і відрізнятися при цьому за величиною трансляції.

Гвинтові осі позначають 21, 31, 32, 41, 42, 43, 61, 62, 63, 64, 65. Тут частка від ділення малої цифри на більшу дасть величину надходження t уздовж осі по відношенню до елементарної трансляції T структури в напрямі, паралельному даній осі. Розрізняють праві та ліві гвинтові осі. Гвинтова вісь називається правою, якщо обертання навколо неї відбувається за годинниковою стрілкою, і лівою, якщо поворот здійснюється проти годинникової стрілки.

Подвійна гвинтова вісь 21 – дія її зводиться до повороту на 180° з подальшим перенесенням уздовж неї на половину елементарної трансляції. Звідси зрозуміле позначення цієї осі – 21. Подвійна гвинтова вісь одночасно є і правою, і лівою, оскільки повороти навколо неї на 180° і праворуч, і ліворуч призводять до тотожного результату (рис. 4.3, а, б).

Дія потрійної осі (31) полягає в повороті на 120° і подальшому перенесенні на 1/3 елементарної трансляції (рис. 4.3, в, г, д).

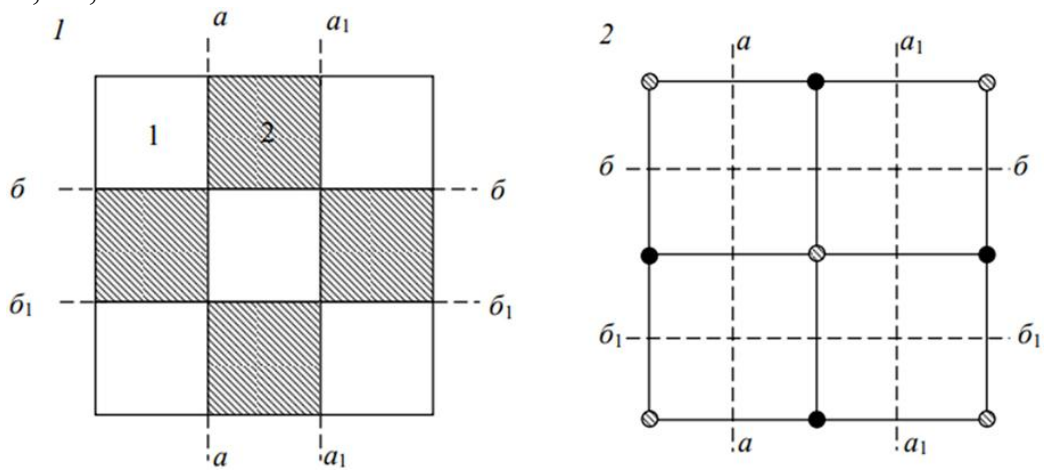
Площина ковзного відображення – поєднання трансляції з віддзеркаленням, тобто ковзне відображення складається з паралельного перенесення та дзеркального віддзеркалення: вузол віддзеркалюється площиною симетрії та водночас переміщується на відстань, що дорівнює періоду ідентичності в напрямку трансляції.



а – подвійна 2; б – подвійна гвинтова 21; в – потрійна 3; г – потрійна гвинтова права вісь 31; д – потрійна гвинтова ліва вісь 32

Рисунок 4.3 – Поворотні осі симетрії

Дію площин ковзного відображення легко можна зрозуміти на прикладі візерунка шахової дошки, уявивши його собі нескінченним. Площина ковзного відображення тут проходить уздовж лінії аа. Щоб поєднати квадрати 1 і 2 (рис. 4.4, 1), треба перший перенести паралельно самому собі на місце нижчерозташованого заштрихованого квадрата і потім відобразити в площині, перпендикулярній малюнку, що проходить уздовж лінії аа. При цьому поєднається весь візерунок дошки, Такі самі площини проходитимуть і вздовж лінії а1а1, бб, б1б1.



1 – площини типів а і б на візерунку шахової дошки; 2 – площини а і б на сітці куба елементарного осередку NaCl

Рисунок 4.4 – Площини ковзного відбиття

Для просторових решіток також визначаються координаційні числа (КЧ) за киснем – числа найближчих атомів (іонів), що оточують центральний атом (іон). Стійкість того чи іншого типу координації в структурі визначається таким їхнім взаємним розташуванням, що унеможливлює зіткнення однакових і, отже, однойменно заряджених іонів. Навколо великого центрального катіона легко розташовуються без взаємного зіткнення більша кількість аніонів, ніж навколо малого.

Під час опису структури на додаток до числової характеристики найближчого оточення кожного атома – координаційного числа – слід зазначити й геометричну форму координаційного поліедра (КП), тобто описати фігуру, усередині якої міститься цей атом, а у вершинах – атоми– сусіди. Така додаткова характеристика необхідна тому, що одному й тому самому координаційному числу можуть відповідати різні координаційні поліедри.

Методика проведення роботи

Визначити тип пропонованої до вивчення просторової решітки. Виконати її схематичний малюнок, де позначити координати вузлів та індекси сіток.

Вибрати елементарну комірку на плоскій сітці, а потім і в об'ємі решітки, дотримуючись таких умов:

- елементарний осередок повинен мати симетрію всієї решітки;
- об'єм комірки має бути мінімальний;
- мають бути найкоротші трансляції ребрами осередку і максимальне

число прямих кутів і рівних сторін (перша умова важливіша за другу, друга важливіша за третю).

Визначити координаційне число і форму координаційного поліедра.

Визначити число формульних одиниць, що припадають на одну елементарну клітинку.

Установити індекси сіток просторової решітки.

Знайти прості та трансляційні (складні) елементи симетрії просторової решітки.

Вимоги до змісту та оформлення звіту.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити визначення типу просторової решітки досліджуваного кристала та виконання її схематичного малюнка з позначенням координат вузлів та індексів сіток. Необхідно вибрати елементарну комірку на плоскій сітці, а потім в об'ємі решітки, дотримуючись умов: комірка повинна мати симетрію всієї решітки, мати мінімальний об'єм, найкоротші трансляції ребрами та максимальну кількість прямих кутів і рівних сторін (з пріоритетом першої умови над другою, другої над третьою). У звіті слід викласти результати визначення координаційного числа та форми координаційного поліедра, а також розрахунок числа формульних одиниць (Z), що припадають на одну елементарну комірку. Потрібно встановити індекси сіток просторової решітки та визначити прості й трансляційні (складні) елементи симетрії, такі як трансляції, гвинтові осі симетрії та площини ковзного відображення, із зазначенням їх типів (наприклад, 21, 31, 32 тощо для гвинтових осей). Формулу симетрії записати в загальноприйнятому порядку: спочатку вказати осі симетрії вищого порядку (L6, L4, L3), потім кількість і позначення осей нижчого порядку (L2), кількість площин симетрії, включаючи площини ковзного відображення, і наостанок зазначити наявність центру симетрії. Для кристалів кубічної сингонії порядок змінюється: спочатку записуються осі третього порядку (L3), а потім четвертого (L4). У звіті необхідно включити схематичне креслення просторової решітки з позначенням елементарної комірки, координат вузлів, індексів сіток та елементів симетрії.

Лабораторна робота 5. *Вивчення фізичних властивостей мінералів, форм мінеральних зерен агрегатів*

Мета: вивчити фізичні властивості мінералів – твердість, колір, колір риски, блиск, прозорість, а також низку особливих властивостей – магнітність, розчинність, запах тощо.

Матеріали та обладнання: набір мінералів, шкала твердості Мооса, спиртівка, магніт, фарфорові пластинки, 10%–на та концентрована соляна кислота (HCl), концентровані сірчана кислота (H_2SO_4) та їдкий луг (KOH), вода, предметне скло, лупа, визначник мінералів.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

- ✓ Чим зумовлене забарвлення мінералів?
- ✓ Як визначити колір риски мінералу в шматку та в порошку?
- ✓ Який блиск мають кварц, гематит, каолініт, мусковіт, кальцит, алмаз, хризотил–азбест, піролюзит, галіт?
- ✓ Назвіть види неметалічного блиску мінералів, наведіть приклади.
- ✓ Назвіть мінерали, що входять до шкали Мооса.
- ✓ Як визначити твердість мінералів, використовуючи шкалу Мооса та підручні інструменти?
- ✓ Назвіть типи мінералів за густиною та твердістю.
- ✓ Назвіть типи спайності, наведіть приклади.
- ✓ Чим відрізняється спайність мінералів від зламу?
- ✓ Назвіть види зламу мінералів. Який злам мають метали, волокнисті мінерали?
- ✓ Назвіть особливі властивості мінералів, наведіть приклади мінералів із цими властивостями.
- ✓ Для яких класів мінералів характерна взаємодія з HCl, які мінерали добре розчиняються у воді?

Теоретична частина

Мінералами називаються хімічні елементи та їхні сполуки, що утворюються в земній корі під впливом фізико–хімічних процесів і мають певний склад і певні властивості. Переважній більшості мінералів властива кристалічна будова. Сукупність цих факторів визначає сталість їхніх фізичних властивостей, форми окремих мінералів зерен і їхніх зростків.

Властивості мінералів дуже різноманітні. Визначення багатьох із них потребує застосування складних приладів і обладнання, наявних у стаціонарних спеціалізованих лабораторіях. Однак деякі з найважливіших властивостей мінералів легко визначити на око, на дотик або за допомогою найпростіших пристосувань і предметів.

Морфологія вивчає форми мінералів, які трапляються як у вигляді окремих кристалів (монокристалів), так і у вигляді закономірних зростків (двійників) і незакономірних (агрегатів).

Зовнішній вигляд кристала (габітус) залежить від сукупності його граней, ребер у їхньому відносному розвитку. Для кожної сингонії характерні кристали певних габітусів. За виглядом (габітусом) кристали поділяють на три типи:

1. Ізометричні, що мають приблизно однакові розміри за трьома взаємно перпендикулярними напрямками. До цього типу належать кристали кубічної сингонії: куб (пірит, галіт, галеніт); октаедр (шпінель), тетраедр, ромбододекаедр (гранат), пентагондодекаедр (пірит) тощо. Сюди ж належать і комбінації кількох простих форм кубічної сингонії.

2. Витягнуті в двох напрямках – таблитчасті (барит, гематит), пластинчасті, листові, лускаті (слюда, тальк, хлорит), характерні здебільшого для кристалів ромбічної, моноклінної і триклінної сингонії, і рідше – тетрагональної, гексагональної і тригональної.

3. Витягнуті в одному напрямку – стовпчасті (кварц, берил, актиноліт), шестуваті (кальцит), волокнисті (хризоліт – азбест, селеніт), голчасті (актиноліт, тремоліт, рутил, турмалін). Усі витягнуті в одному напрямку кристали належать до призматичного вигляду (габітусу). Вони характерні для середньої та нижчої категорій.

Двійником називають такий закономірний зросток двох кристалів, у якому один індивід може бути отримано з іншого або відображенням у певній площині (двійниковій), або поворотом навколо певної осі (двійниковій). Площину, за якою індивіди зрослися, називають *площиною зрощення*. Розрізняють двійники зрощення, проростання і полісинтетичні. У двійниковому положенні можуть зростатися два кристали (двійники), три (трійники), чотири і більше.

Якщо в двійниковому зростанні за одним і тим самим законом налічується велика кількість індивідів, то такі утворення називаються полісинтетичними (багаторазовими) двійниками.

Агрегатами називають незакономірні зростки кристалів.

Вони можуть бути мономінеральними, тобто такими, що складаються з одного мінералу, і полімінеральними.

Найтиповішими мінеральними агрегатами є друзи (гребінці, щітки, кристалічні кірки), секреції (жеода, мигдалини), конкреції, ооліти, сфероліти, дендрити, зернисті, листуваті, пластинчасті, лускаті, шестерняcті, голчасті, волокнисті, землисті, натічні, нальоти та примазки і т. д. Якщо форма агрегату не вкладається в загальновідомі назви, то до неї застосовують назви за схожістю з тим чи іншим предметом (брунькоподібні, гроновидні, грушоподібні, червоподібні тощо).

Друзи – зростки добре сформованих кристалів, прикріплених кінцем до спільної основи, завдяки чому у них огранованні тільки вільні кінці. У тому випадку, коли кристали, що тісно стикаються в друзі, витягнуті більш–менш паралельно один одному, агрегати називаються гребінчастими (гребінками) або щіковидними (щітки) залежно від розмірів кристалів.

Друзи можуть складатися з кристалів як одного, так і кількох мінералів. У вигляді друз часто зустрічаються кварц (гірський кришталь), кальцит, польовий шпат, берил (рис. 5.1.).



Рисунок 5.1 – Друза гірського кришталю

Секреції – мінеральні утворення, що заповнили порожнечі в гірських породах. Заповнення порожнечі відбувається від периферії до центру шляхом відкладення речовини на стінках порожнечі. При цьому окремі шари часто відрізняються один від одного за кольором і складом, унаслідок чого для секрецій характерна наявність концентричних шарів. Секреції невеликих розмірів (до 10 мм у поперечнику) називаються *мигдалинами*. Вони зазвичай цілком заповнені мінеральними речовинами. Великі секреції нерідко мають усередині порожнину, стінки якої вкриті друзами кристалів або натічними утвореннями. Такі форми називають *жеодами*. У вигляді жеод часто зустрічаються агат, халцедон, кварц (гірський кришталь), аметист, кальцит, бурий залізняк (рис. 5.2.).



Рисунок 5.2 – Жеода аметисту

Конкреції (стягнення) – утворення округлої (кулястої, яйцеподібної) форми, що мають радіально–променисту, а іноді концентрично–шкаралуповату будову. Вони утворюються навколо якогось центру, тож відкладення

мінеральної речовини тут відбувається від центру до периферії (на відміну від секреції).

Конкреції можуть мати розміри від міліметрів до десятків сантиметрів і навіть метрів у поперечнику. Виникають конкреції зазвичай у пухких осадових гірських породах – глинах, пісках тощо. Особливо характерні конкреції для фосфориту, марказиту, сидериту (рис. 5.3.).



Рисунок 5.3 – Конкреція марказиту у зламі

Ооліти (яйцеподібні камені) – сферичні утворення невеликих розмірів, що мають концентрично–скорлуповату будову. Поперечний переріз окремих "кульок" зазвичай не більше 5 мм. За способом утворення вони багато в чому подібні до конкрецій. Окремі "кульки" бувають або зцементованим мінеральним центром подібного складу, або перебувають у пухкому стані. У вигляді оолітів часто зустрічаються кальцит, арагоніт (оолітові вапняки), піролюзит. Осадові породи, що складаються зі зцементованих оолітових стяжень, залежно від розмірів окремих оолітів називають ікряним або гороховим камінням(рис. 3.4.).

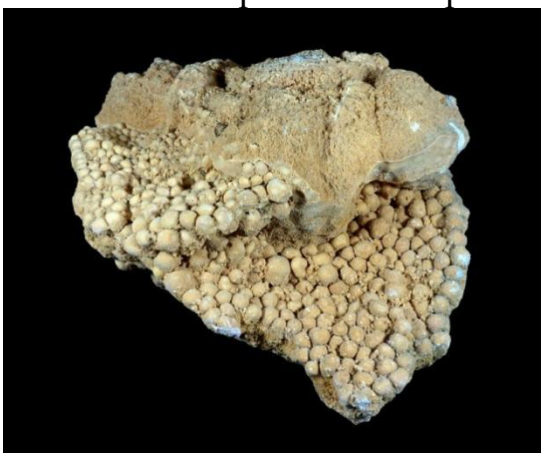


Рисунок 5.4 – Оолітовий вапняк.

Псевдооолітами (бобовинами) називають утворення, аналогічні оолітам за формою, але такі, що не мають концентричної шаруватості. Вони характерні для бурого залізняку (бобові руди).

Сфероліти на відміну від оолітів мають радіально–променисту будову. Кожне волокно сфероліту відповідає витягнутому кристалу. Кристали ніби сходяться в центрі сфероліту.

Дендрити – деревоподібні гіллясті агрегати, що нагадують гілки дерева, листя папороті (рис. 5.5.). Вони утворюються під час швидкої кристалізації в тонких тріщинах або в'язкій речовині (у мокрій глині – дендрити манганіту, гідроокиллів заліза), а також характерні для ковких самородних металів (мідь, срібло).



Рисунок 5.5 – Дендрити марганцю

Зернисті агрегати – агрегати, складені кристалічними зернами більш–менш ізометричної форми. Приклади: апатит, корунд. Залежно від величини зерна розрізняють такі агрегати:

– досить грубозернисті, із середнім розміром індивідів понад 10 мм у поперечнику;

– грубозернисті – з розміром зерен від 5 до 10 мм у поперечнику,

– середньозернисті – із зернами від 1 до 5 мм у поперечнику, зерна легко помітні неозброєним оком;

– тонкозернисті – з розміром зерен до 1 мм у поперечнику, зерна помітні тільки за допомогою лупи або мікроскопа (у шліфах);

– дуже тонкозернисті або щільні – окремі зерна не можна розрізнити навіть у лупу.

Листуваті, пластинчасті, лускаті – складені індивідами пластинчастого, листуватого або лускатого вигляду (слюда, хлорит, барит). При підрозділі тут, крім форми, враховуються розміри.

Шостуваті, голчасті, волокнисті – окремі індивіди мають витягнуту в одному напрямку форму. При цьому індивіди можуть бути радіально розташовані (радіально–променисті агрегати пірофіліту, гідроборациту), паралельно розташовані (паралельно–волокнисті агрегати азбесту, селеніту), сноповидні (турмалін), променисті (натроліт).

Натічні форми утворюються шляхом поступового натікання (обгортання) нової речовини на вже відкладену речовину мінералу. Зазвичай вони виникають у пустотах і печерах за рахунок колоїдів–гелів. Мають вигляд бурульок (сталактити, сталагміти), бруньок, черв'яків тощо.

Брунькоподібні форми (рис. 5.6.) з неметалевим блиском, що мають водночас радіально–променисту та концентрично–скурлупувату будову, називаються "скляними головами" (бура скляна голова, червона скляна голова, характерна відповідно для бурого та червоного залізняку).



Рисунок 5.6 – Червона скляна голова

Натічні агрегати часто утворюють кальцит, малахіт, гідроокиси марганцю та заліза (рис. 5.7.).



Рисунок 5.7 – Брунькоподібна натічна форма малахіту

Землисті агрегати – м'які, борошнисті утворення, що нагадують зовнішнім виглядом пухку землю. Вони легко розтираються між пальцями. Кристалічні утворення в них неможливо розрізнити навіть у лупу. Землисті маси жовтого і бурого кольорів називають охристими (гідроокисли заліза), а чорного – сажністими (гідроокисли марганцю).

Нальоти і примазки – тонкі плівки мінералів на поверхні кристалів інших мінералів або гірських порід. Прикладом можуть слугувати тонкі плівки гідроокислів заліза на кристалах гірського кришталю, примазки "мідної зелені" і "сині" (малахіту й азуриту) на гірських породах тощо.

Методика виконання роботи.

Визначення твердості, крихкості та ковкості.

Для визначення твердості мінералів використовують різні способи. Абсолютну твердість визначають у лабораторіях за допомогою спеціальних приладів – твердомірів. У польовій практиці найчастіше користуються відносною шкалою твердості Мооса (табл. 5.1). Ця шкала містить десять еталонних мінералів з різною твердістю від 1 до 10, які з приблизною точністю можуть бути замінені різними предметами.

Порівнюючи шляхом взаємного дряпання визначуваний мінерал з еталоном, встановлюють шукану твердість. Наприклад, якщо мінерал своїм гострим краєм дряпає еталон твердості 5 (апатит), а еталон твердості 6 (ортоклаз) дряпає визначуваний мінерал, його твердість – 5,5.

Щоб уникнути помилок під час визначення твердості мінералів, необхідно запам'ятати, що мінерал вважається твердішим, якщо залишений ним слід на поверхні випробуваного мінералу не стирається, тобто на ньому зберігається канавка.

Більшість мінералів крихкі й під час удару молотком дробляться на різні за формою та розмірами частинки. Але є мінерали, які під час удару можуть сплющуватися (самородна мідь, срібло, золото) або під час дряпання гострим предметом на їхній поверхні залишається блискуча риска (халькозин). Це ковкі мінерали.

Таблиця 5.1 – Шкала твердості

Відносна шкала Мооса	Орієнтовна шкала твердості
1 Тальк	М'який, жирний на дотик, дряпається нігтем
2 Гіпс	Дряпається нігтем, не жирний на дотик, дряпається мідною голкою (твердість 3)
3 Кальцит	Середня твердість 3...5, дряпається сталевою голкою (або склом)
4 Флюорит	
5 Апатит	
6 Ортоклаз	Висока твердість більше 6, не дряпає сталевою голкою. Важко дряпається склом.
7 Кварц	Креслять скло.
8 Топаз	
9 Корунд	Ріжуть скло.
10 Діамант	

Визначення спайності та зламу мінералу.

Спайність – здатність мінералів під час удару розколюватися в певних напрямках, утворюючи гладкі блискучі поверхні відколу. Ці поверхні завжди паралельні наявним або можливим граням у кристалах, що тісно пов'язано з

будовою кристалічної ґратки мінералу, з наявністю в ній ослаблених напрямків у зв'язку з великими міжплощинними відстанями та наявністю пакетів із груп атомів, пов'язаних слабкими Ван–дер–Ваальсівськими силами.

Спайність мінералу може бути в одному, двох або декількох напрямках по кубу, ромбоедру, октаедру, тобто паралельна граням відповідної простої форми. Розрізняється за ступенем досконалості:

– досить досконала спайність – мінерал легко за допомогою нігтя розщеплюється на тонкі листочки (слюди, гіпс);

– досконала – мінерал лише при ударі молотком розколюється по паралельних площинах (кальцит, галеніт);

– недосконала спайність (або спайність відсутня) – поверхня розколу нерівна (кварц).

Для перевірки наявності спайності немає потреби розколювати зразки, оскільки вони вже являють собою уламки більших шматків, у яких за наявності спайності видно блискучі паралельні площини у вигляді сходинок.

Слід пам'ятати, що спайність – це властивість кожного зерна мінералу, кожного великого чи маленького індивідуалізованого кристалика. Якщо зерна у досліджуваному мінеральному агрегаті дуже малі, спайність можна не помітити. У цьому разі так і зазначають: спайність не помітна. Для її спостереження використовують мікроскопічний метод дослідження.

Якщо мінерал не має спайності, важливо охарактеризувати поверхню його руйнування, яка може бути досить характерною і визначається як злам Зустрічаються різні види зламу: раковистий – нагадує внутрішню поверхню мушлі (кварц); скалкуватий (серпентин); гачкуватий (самородна мідь) тощо.

Визначення блиску мінералів. ***Блиск*** – здатність мінералу відбивати світло. Залежить від показника заломлення і від характеру поверхні мінералу. Визначення цієї властивості ґрунтується на зоровому сприйнятті блиску. Розрізняють кілька його різновидів: металевий і неметалевий (скляний, алмазний, перламутровий, шовковистий, жирний); металоподібний (перехідний між неметалевим і металевим). Якщо блиску немає – мінерал матовий.

Визначення кольору мінералів.

Колір – здатність мінералу відбивати певні промені спектра. Колір мінералів досить різноманітний і характеризується всіма кольорами спектра (червоний, помаранчевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий) і додатковими (білий, бурий, чорний), а також різними відтінками (блакитно–сірий та ін.). Відомі й деякі забарвлення, пов'язані з заломленням і розкладанням світла в мінералах – кольори іризації (лабрадор), а також зумовлені тонкими плівками оксидів на поверхні деяких мінералів – кольори побіглості.

Кольори побіглості характерні таким мінералам як борніт, халькопірит. Іноді їх можна спостерігати на поверхні кристалів магнетиту тощо.

У деяких випадках для характеристик кольору мінералу користуються різними порівняннями з кольорами добре відомих речовин і предметів, користуючись при цьому подвійними назвами (лимонно–жовтий, молочно–білий, латунно–жовтий, бронзово–жовтий, сталево–сірий тощо). Ці порівняння

іноді досить точно передають особливості кольору і є надійним критерієм для його оцінки.

Визначення кольору риси мінералу.

Колір риси – це колір мінералу в порошку, який не завжди збігається із забарвленням цілих кристалів. Найбільш характерний для темно–забарвлених мінералів. У деяких випадках колір риси – одна з досить характерних і надійних ознак для визначення мінералів. Наприклад, гематит у цілому шматку (в агрегаті зерен) буває чорного або червоно–бурого кольору, а в порошку він завжди вишнево–червоний; пірит у шматку латунно–жовтий, у порошку – зеленувато–чорний. Для визначення кольору риси мінералу використовують білу порцелянову пластинку з неглазурованою поверхнею. Вона має високу твердість і тому зазвичай достатньо провести по ній мінералом, щоб отримати забарвлену риску, яка і характеризує колір мінералів у порошку.

Визначення густини мінералів.

Мінерали мають різну густину, яка визначається атомною вагою елементів, що входять до нього, щільності упаковки атомів у кристалічній решітці. У більшості мінералів густина коливається в невеликих межах і цю різницю в польових умовах визначити важко. Деякі мінерали, що містять важкі елементи (свинець, вольфрам, залізо), мають високу густину, що помітна навіть при порівняльному зважуванні на долоні з відомим мінералом.

За густиною мінерали поділяються на:

важкі – густина понад 4 г/см^3 (вольфраміт, барит);

середньої густини – 4–2,5 г/см^3 (кварц, ортоклаз);

легкі – із густиною менше ніж 2,5 г/см^3 (графіт).

Визначення магнітності мінералів.

Ціла низка мінералів володіє магнітними властивостями, тобто здатністю притягувати намагнічені предмети, але лише в деяких ці властивості можуть бути визначені найпростішим способом за допомогою магнітної стрілки або намагніченої швейної голки.

З числа досліджуваних мінералів різко вираженими магнітними властивостями володіє лише магнетит. Для перевірки цієї властивості випробуваний зразок підносять до вільно підвішеної на нитці намагніченої голки, і якщо вона притягується – мінерал магнітний.

Визначення розчинності мінералів

Мінерали відрізняються різною розчинністю у воді або в кислотах. Легко розчинні у воді мінерали зазвичай мають певний смак (галіт NaCl – солоний, сильвін KCl – гірко–солоний).

Велика група вельми поширених мінералів класу карбонатів, слабо розчинних у воді, порівняно легко розчиняється в соляній кислоті (наприклад, кальцит $CaCO_3$, магнезит $MgCO_3$):

$$CaCO_3+2HCl \rightarrow CaCl_2+H_2CO_3 \nearrow CO_2 \searrow H_2O$$

Взаємодія з соляною кислотою протікає за реакцією.

При нанесенні краплі 10%–ої HCl на поверхню мінералу спостерігається виділення бульбашок CO_2 , що утворюються при розпаді нестійкої вугільної кислоти. Спостережуваний ефект сприймається як "закипання" мінералу з кислотою.

Реакція "закипання" в різних мінералів протікає неоднаково: кальцит $CaCO_3$ легко "закипає" з HCI на холоду, а магнезит $MgCO_3$ "закипає" лише в порошку під час нагрівання. За допомогою реакції легко визначають такі важливі й широко розповсюджені гірські породи, як вапняки, що складаються з кальциту, або пісковики, що мають вапняний цемент.

Вимоги до змісту та оформлення звіту.

Передусім визначаються такі властивості, як колір, колір риски, прозорість, блиск, твердість, спайність, характер зламу, а потім послідовно – інші властивості, розглянуті вище. На основі комплексу діагностичних ознак із використанням таблиці для визначення мінералів (табл. 1 у додатку) встановлюється назва досліджуваного мінералу.

Приклад. У результаті вивчення фізичних властивостей мінералу встановлено:

твердість – 1 (мінерал дряпається тальком і сам залишає на ньому подряпину);

пише на папері, не дряпаючи її;

блиск – напівметалічний;

колір – чорний;

риска – чорна;

спайність – досконала;

на дотик – жирний.

Цих властивостей достатньо для діагностики графіту.

Від схожого з ним молібденіту досліджуваний мінерал відрізняється блиском, кольором риски, а також особливими властивостями:

графіт – крихкий,

молібденіт – ковкий.

Результати визначення оформити у вигляді таблиці.

Таблиця 5.1 – Фізичні властивості мінералу та їх визначення

Колір	Колір риси	Прозорість	Блиск	Твердість	Спайність	Злам	Зовнішній вигляд агрегату	Щільність, г/см^3	Особливості властивості	Назва мінералу

Лабораторна робота 6. *Вивчення морфологічних особливостей та властивостей самородних мінералів та сульфідів*

Мета: ознайомитися з колекцією мінералів класів самородних елементів і сульфідів, вивчити їх основні діагностичні ознаки, умови утворення та сфери застосування, навчитися визначати мінерали цих класів.

Матеріали та обладнання: мінерали класів самородних елементів і сульфідів; шкала твердості Мооса; фарфорова пластинка; спиртівка; концентровані та 10%–ні розчини HCl; концентровані розчини KOH і NaOH; лупа.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

✓ Що таке самородні елементи? Які мінерали належать до цієї групи? Наведіть приклади.
✓ Які фізичні властивості характерні для самородних елементів, таких як золото, срібло чи алмаз?
✓ Що таке сульфіди? Які хімічні елементи найчастіше утворюють сульфідні мінерали?
✓ Як визначається твердість і спайність сульфідів? Назвіть приклади сульфідів із різною твердістю.
✓ Які оптичні властивості (колір, блиск, прозорість) характерні для сульфідів, таких як пірит, халькопірит чи галеніт?
✓ Як магнітні властивості можуть допомогти ідентифікувати сульфідні мінерали, наприклад, піротин?
✓ Які методи застосовуються для діагностики самородних елементів і сульфідів у лабораторних умовах?
✓ Яке значення мають сульфіди в металургійній промисловості? Назвіть сульфідні мінерали, що є рудами металів.
✓ Як форма кристалів (габітус) допомагає відрізнити самородні елементи від сульфідів?
✓ Які особливості агрегатів сульфідів (наприклад, дендрити, конкреції) можна спостерігати в зразках?

Теоретична частина

Мінерали класу "самородні елементи" підрозділяють на два підкласи: "самородні" метали і "самородні" металоїди, які істотно відрізняються за властивостями мінералів, що входять до них.

"Самородні" метали (золото, мідь) мають металічну структуру кристалічних решіток і тому вирізняються ковкістю, металевим блиском, високою тепло- та електропровідністю.

"Самородні" металоїди мають частіше атомну структуру (сірка), а іноді шарувату (графіт). Для них характерна крихкість, неметалевий блиск.

Сульфіди (сірчисті сполуки) являють собою сполуки важких металів – Fe, Cu, Pb, Zn, Hg, Ni, Co, Sb та ін. із сіркою. Їх можна розглядати як солі сірководневої кислоти. Вони мають металевий блиск, високу щільність, частіше вирізняються невисокою твердістю – 2–4 і навіть 1 (молібденіт), і лише деякі (пірит, арсенопірит, кобальтин) мають значну твердість, яка сягає 6–7; зазвичай непрозорі, часто характеризуються чорною рискою, крихкі.

За структурою і властивостями сульфіди посідають проміжне становище між металами (блиск, густина, твердість і іноді ковкість) і металоїдами (крихкість).

Найважливіші властивості основних мінералів наведено в табл. 6.1. Ці властивості можуть дещо змінюватися залежно від особливостей умов їх утворення. Більшою мірою це стосується кольору форм зерен, агрегатів, спайності, яка не завжди виражена.

Методика виконання роботи

Під час вивчення самородних елементів і сірчистих сполук необхідно використовувати прийоми й методи, викладені в лабораторній роботі № 5, звернувши особливу увагу на визначення властивостей, найхарактерніших для цих класів мінералів: форму зерен, колір мінералу, побіжливість, блиск, спайність, твердість.

Під час визначення кольору необхідно звернути увагу на відтінки. Так, мінерали пірит, халькопірит і пентландит подібні між собою за низкою властивостей, будучи мінералами жовтого кольору; відрізняються один від одного відтінками, пірит – латунно–жовтий, халькопірит – золотисто–жовтий, пентландит– бронзово–жовтий. Порівняння цих мінералів за забарвленням дає змогу впевнено відрізняти їх один від одного. Необхідно порівняти темно–сірий графіт з подібним, але свинцево–сірим молібденітом.

Для сульфідів характерними є кольори побіглості, особливо для борніту, який, як правило, вкритий райдужною плівкою з синьо–зеленим відливом.

У самородних металів і в сульфідів блиск найчастіше металічний і лише у сфалериту алмазний. Це дає змогу відрізняти його від схожого галеніту, який часто разом з ним зустрічається.

Важливо звернути увагу на спайність. У сульфідів вона не однакова: у молібденіту – досить досконала; у галеніту, сфалериту, пентландиту – досконала. Останній цією властивістю впевнено відрізняється від подібних до нього, халькопіриту й, особливо, піротину (FeS), що мають, як і пентландит, бронзово–жовтий колір. Відсутня спайність у піриту, калькопіриту, борніту.

Слід звернути увагу на твердість. Найменшу твердість, що дорівнює одиниці, мають молібденіт і графіт, що відрізняються кольором і густиною; найбільшу твердість (5; 6) – пірит, арсенопірит, кобальтин, що також відрізняються за кольором та іншими властивостями.

У деяких випадках впевнена діагностика мінералу можлива при визначенні у нього лише деяких фізичних властивостей. Наприклад, галеніт надійно

діагностується за кольором, блиском і досконалою спайністю; молібденіт – за твердістю, блиском, кольором і відтінком.

Складання звіту

У зошиті з лабораторних робіт для характеристики зразків навчальної колекції студенти складають таблицю, аналогічну до табл. 6.1, де наводять перелік мінералів, з фізичними властивостями яких вони ознайомилися, зазначаючи при цьому ті властивості, що характерні для конкретних зразків з їхніми особливостями забарвлення, форм зерен, агрегатів тощо. (а не взагалі притаманних даному мінералу, які змінюються залежно від умов утворення, як це наводиться в табл. 6.1.).

Студенти мають запам'ятати найхарактерніші ознаки кожного мінералу, за якими він діагностується швидко і впевнено.

Таблиця 6.1 – Фізичні властивості самородних елементів та сульфідів

№ п/п	Назва та хімічний склад мінералу	Клас	Колір	Блиск	Твердість	Спайність	Форма зерен	Агрегатний стан	Інші властивості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Мідь **Cu**	Самородна	Мідно–червоний	Металевий	3	Не досконала	Дендрити, суцільні ізометричні зерна	Суцільні маси	Гнучка, ковка, окислюється з поверхні
2	Сірка **S**		Жовтий	Скляний жирний	2	Те ж саме	Ізометричні зерна	Зернисті маси	Горюча
3	Графіт **C**		Чорний до сталево–сірого	Металоподібний	1	Досить досконала	Лускаті	Агрегати лускатів	Легка, жирна на дотик
4	Пірит **FeS_2**	Сульфіди	Латунно–жовтий	Металевий	5	Не досконала	Кубічні кристали	Зернисті маси	Дряпає скло
5	Халькопірит **$CuFeS_2$**		Золотисто–жовтий	Те ж саме	3–4	Те ж саме	Ізометрична	Те ж саме	Важкий
6	Галеніт **PbS**		Свинцево–сірий	–"–	2–3	Досконала за кубом	Кубічні кристали	Зернисті маси	Сильний блиск
7	Сфалерит **ZnS**		Бурий до чорного	Алмазний	3–4	Те ж саме	Тетраедричні кристали	Те ж саме	

Продовження таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Борніт **Cu_5FeS_4**	Сульфіди	Мідно–червоний з рябою синьо–зеленою посілістю	Металевий тусклий	3	Не досконала	Ізометричні зерна	_"_	Рябий колір
9	Пентландит **$(Fe, Ni)_9S_3$**		Бронзово–жовтий	Металевий	3	Досконала	Те ж саме	_"_	Від піриту та халькопіриту відрізняється спайністю і кольором
10	Кіновар **HgS**		Криваво–червоний	Алмазний напівметалевий	2–2,5	Те ж саме	Ізометричні зерна, ромбоедри	Вкраплення зернистої та землистої маси	–
11	Антимоніт **Sb_2S_3**		Свинцево–сірий	Металевий	2–2,6	_"_	Голчасті та стовбчасті кристали	Променеві агрегати	
12	Кобальтин **CoAsS**		Сталево–сірий з рожевими відтінком	Металевий	5–6	Досконала	Ізометричні зерна, октаедри, куби	Зернисті агрегати	
13	Молібденіт **MoS_2**		Свинцево–сірий з блакитним відтинком	Те ж саме	1	Досить досконала	Листувата	Лускаті агрегати	

Закінчення таблиці 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Арсенопірит **FeAsS**	Сульфіди	Сталево–сірий, олов'яно–білий	–"–	6	Досконала	Стовбчасті кристали	Зернисті маси	Дряпає скло
15	Аурипігмент **As_2S_3**		Лимонно–жовтий	Перламутровий, алмазний	1–2	Досить досконала	Листова	Листуваті та лускаті агрегати	–
16	Реальгар **AsS**		Помаранчевий	Жирний	1–2	Досконала	Ізометричні зерна	Зернисті агрегати	–

Порядок виконання роботи та звіт

Користуючись зазначеними таблицями, здійснити діагностику мінералів, записати їх кристалохімічну формулу, охарактеризувати фізичні властивості, описати умови утворення та застосування у виробництві силікатних матеріалів. Результати оформити у вигляді таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Опис морфологічних особливостей та властивостей самородних елементів та сульфідів

Найменування та мінералу кристалічна формула	Клас, підклас	Тип структури	Сингонія та форма кристалу	Колір мінералу	Колір риси	Блиск	Твердість	Спайність, злом	Щільність, г/см^3	Інші діагностичні властивості	Походження	Використання	Родовище

.

Лабораторна робота 7. *Вивчення морфологічних особливостей та властивостей оксидів та гідроксидів*

Мета: Ознайомитися з колекцією мінералів класу оксидів і гідроксидів, вивчити їх основні діагностичні ознаки, умови утворення та сфери застосування.

Матеріали та обладнання: мінерали класу оксидів і гідроксидів; визначник мінералів; шкала твердості Мооса; фарфорова пластинка; спиртівка; магніт; концентрована та 10%–на HCl; концентрований KOH.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

- ✓ Що таке оксидні мінерали? Які хімічні елементи входять до їх складу?
- ✓ Які фізичні властивості (твердість, питома вага, колір) характерні для оксидів, таких як гематит, магнетит чи корунд?
- ✓ Як спайність і злам оксидів впливають на їх ідентифікацію? Наведіть приклади.
- ✓ Які оптичні властивості (блиск, прозорість) допомагають відрізнити оксиди від інших класів мінералів?
- ✓ Як магнітні властивості магнетиту використовуються для його діагностики?
- ✓ Які оксидні мінерали є важливими рудами в металургії? Назвіть їх і відповідні метали.

✓ Як форма кристалів і габітус оксидів (наприклад, гексагональні пластинки гематиту) допомагають у їх визначенні?
✓ Які методи застосовуються для ідентифікації оксидів у зразках гірських порід?
✓ Яке значення мають оксиди, такі як кварц чи корунд, у промислових і ювелірних застосуваннях?
✓ Як агрегати оксидів (наприклад, землисті маси гематиту) впливають на їх діагностику?

Теоретична частина



Оксиди являють собою сполуки металів Fe, Mn, Cr, Al, Sn та ін. з киснем. Клас оксидів численний. Відомо близько 200 мінералів. Виділяють прості оксиди типу R_2O, RO, R_2O_3 і складні типу $RO \cdot R_2O_3$, де R = Fe^{+2} Fe^{+3} , Cr тощо. Оксиди становлять близько 17% земної кори. Із них на частку кварцу припадає 12,6%. Розрізняють прості та складні оксиди. Прості оксиди мають загальні формули: R_2O, RO, R_2O_3 і RO_2. До складних належать комплексні оксиди, загальна формула яких – $RO \cdot R_2O_3$ або $RO \cdot R_2O_5$. У гідроксидах обов'язковим компонентом є H_2O або аніон $(OH)^-$.

Забарвлення мінералів–оксидів залежить від їхнього складу. Сполуки Mg, Al та інших елементів є безбарвними або мають алохроматичне забарвлення (зумовлене домішками). Більшість оксидів Fe, Mn, Cr та інших зазвичай інтенсивно забарвлені в темні, аж до чорних, кольори. При цьому багато з них прозорі або просвічують у тонких шліфах, виявляючи переважно бурі та червоні відтінки. Блиск таких мінералів – напівметалічний. Для деяких оксидів характерні підвищені магнітні властивості (наприклад, магнетит, гематит), іноді – радіоактивність (оксиди, що містять U та Th).

У структурному відношенні для більшості оксидів і гідроксидів характерний іонний тип зв'язку.

Кисень і гідроксильні групи зазвичай розташовуються у вершинах тетраедрів і октаедрів, а катіони – в чотири– або шестикратному оточенні атомів кисню.

Залежно від угруповання атомів виділяють оксиди з координаційними, острівними, ланцюговими, листовими (шаровими) та каркасними структурами. Серед оксидів широко поширене явище ізоморфізму – гетеровалентного (титанові та тантало–ніобієві сполуки, оксиди заліза) та ізовалентного (між Fe^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}, Cr^{3+}, Nb^{2+} тощо) типів.

Фізичні властивості оксидів безпосередньо пов'язані з їхньою структурою. Багато з них, маючи міцну кристалічну будову, характеризуються високою твердістю (6–9 за шкалою Мооса), хімічною стійкістю, тугоплавкістю та низькою розчинністю. Щільність залежить від складу, особливо висока вона в оксидів Sn, Ta та U.

Грати гідроксидів із шаруватими кристалічними структурами характеризуються значно меншою міцністю. Слабкий зв'язок між окремими

шарами зумовлює їх спайність, завдяки якій вони легко розщеплюються на тонкі пластинки. Гідроксиди двовалентних металів мають низьку твердість, яка зростає при заміні катіонів на тривалентні метали. Твердість також підвищується за наявності в структурі іонних груп $[OHO]^{3-}$, як, наприклад, у діаспору.

Форма залягання оксидів у природі є надзвичайно різноманітною. Вони трапляються як у вигляді добре сформованих кристалів (кварц, корунд, магнетит, рутил тощо), так і у вигляді суцільних зернистих мас, пухких або порошкоподібних агрегатів, часто прихованокристалічних (опал, халцедон, лимоніт). Оксиди утворюються як ендогенним шляхом – при магматичних, пегматитових і гідротермальних процесах (кварц, шпінель, рутил тощо), а також при регіональному та контактовому метаморфізмі (корунд), – так і в екзогенних процесах. Основна маса гідроксидів виникає внаслідок вивітрювання гірських порід і окиснення рудних мінералів (гідраргиліт, лимоніт), концентруючись у верхніх частинах земної кори – на її межі з атмосферою, що містить вільний кисень.

Багато оксидів мають високу твердість (6–9), високу тугоплавкість і хімічну стійкість, велику щільність (до 7 – каситерит). Кольори мінералів і колір риси частіше темні (чорні, бурі, червоно–бурі), блиск напівметалевий. Деяким мінералам характерні магнітні властивості. Частіше трапляються мінерали у вигляді зернистих і землистих мас, багато з них є рудами чорних, рідше кольорових металів. Основні діагностичні характеристики оксидів та гідроксидів наведені в таблиці 7.1, 7.2 та у додатку таблиця 1 та 2.

Таблиця 7.1 – Характеристика оксидів

Мінерал	Сингонія	Походження	Область застосування	Родовище
Периклаз MgO	Кубічна	Контактно–пневматолітове	Вогнетривка промисловість (периклазові вогнетриви). Для промислових цілей одержують випалом магнезиту	Урал
Шпінель $MgAl_2O_4$	Кубічна	Контактно–метасоматичне, зрідка магматичне	Виробництво абразивів, вогнетривів. ювелірні вироби	Урал, Забайкалля, Таджикистан (Памір)
Магнетит (магнітний залізняк) Fe_3O_4 Титаномагнетит Хромомагнетит	Кубічна	Магматичне, контактометасоматичне. метаморфічне, зустрічається у магматичних породах	Залізна руда, цементна промисловість (коригуюча добавка), виробництво феромагнітної кераміки	Урал, Карелія, Кольський півострів). Україна (Кривий Ріг)
Хроміт (хромистий залізняк) $FeCr_2O_3$ Хромшпінеліди $(Mg, Fe)\cdot(Cr, Al, Fe)_2O_4$	Кубічна	Магматичне в ультраосновних породах	Руда на хром, виробництво ферохрому, хімічна промисловість	Урал, Вірменія
Перовскіт $CaTiO_3$	Кубічна	Магматичне, зустрічається у контактних вапняках	Виробництво титановмісної кераміки та зварних матеріалів	Урал
Каситерит (олов'яний камінь) SnO_2	Тетрагональна	Гідротермальне, контактно–метасоматичне	Руда на олово, виробництво фарб, емалей	Забайкалля, Казахстан
Піролюзит (поліант) MnO_2	Тетрагональна	Зони окислення марганцевих мінералів	Руда на марганець, скляна, хімічна промисловість	Україна, Грузія
Рутил $TiIO_2$	Тригональна	Магматичне. метаморфічне, зустрічається у пегматитових жилах	У скляній, вогнетривкій промисловості. для отримання особливих сортів сталі, беліл	Урал, Казахстан
Корунд Рубін Сапфір Al_2O_3	Тригональна	Метаморфічне, іноді магматичне. присутній у розсипах	Абразивний матеріал, вогнетривка. електротехнічна промисловість. ювелірне виробництво	Урал, Казахстан

Гематит (червоний залізняк. залізний блиск) Fe_3O_4	Тригональна	Гідротермальний. контактно–пневматолітове. метаморфічне (залізисті кварцити)	Залізна руда, цементна промисловість (коригуюча добавка), виробництво феромагнітної кераміки	Курська магнітна аномалія – КМА, Урал, Україна (Кривий Ріг)
Ільменіт (титанистий залізняк) $FeTiO_3$	Тригональна	Магматичне	Руда на титан, виробництво феротитану, титанових білил	Урал, Кольський півострів
Кварц Гірський кришталь Аметист Моріон SiO_2	Тригональна (α–кварц), гексагональна (β–кварц)	Магматичне, гідротермальне (кварцові жили), метаморфічне (кварцит), екзогенне при розкристалізації гелів кремнезему, біогенне (діатоміт), при вивітрюванні гірських порід (кварцовий пісок)	Отримання динасових вогнетривів: порцеляни, фаянсу, хімічного посуду, ювелірних виробів: пісок – наповнювач для бетону: кварцити, кварцові пісковики – будівельний та оздоблювальний матеріал	Урал. Сибір, Україна (Волинь), Казахстан, Грузія
Халцедон Агат Онікс SiO_2	Аморфна	Екзогенне при розкристалізації гелів кремнезему, в ефузійних породах	Для виготовлення ступок, підп'ятників ваг, у ювелірному виробництві	Урал, Сибір. Україна (Крим) Грузія
Опал Шляхетний опал $SiO_2 \cdot nH_2O$	Аморфна	Екзогенне – розкладання силікатів при вивітрюванні. гідротермальне у вулканічних областях	Цементна промисловість (багаті опалом породи – трепели, діатоміти, опоки), теплоізоляційний та шліфувально–полірувальний матеріал, ювелірне виробництво	Урал, Саратовська обл. Камчатка, Грузія

Таблиця 7.2 – Характеристика гідроксидів

Мінерал	Сингонія	Походження	Сфера застосування	Родовище
Брусит $Mg(OH)_2$	Триго–нальна	Гідротермальна зміна ультрабаритів, в доломітах	Сировина для отримання магнію, виробництва магнезіальних вогнетривів, скляне виробництво	Урал, Сибір
Діаспор $HAlO_2$ (AlOOH)	Ромбічна	Екзогенне – у корах вивітрювання силікатних порід. Гідротермальне – (утворене) внаслідок гідротермальних процесів	Руда на глинозем (боксити)	Урал, Узбекистан
Гетит (бурий залізняк) $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ Лимоніт $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	Ромбічна	Екзогенне – осади мінеральних джерел, озер, боліт, окиснення залізовмісних мінералів.	Залізна руда, виробництво керамічних красок	Урал, Україна (Крим, Кривий ріг)
Гідроргіліт $Al(OH)_3$	Моно клина	Екзогенне – у корах вивітрювання силікатних порід	Руда на глинозем (бокситии)	Урал, Ленінградська область)

Методика виконання роботи та складання звіту

Під час вивчення мінералів класу оксиди необхідно використовувати навички у визначенні фізичних властивостей, набуті під час виконання попередніх робіт. Особливо слід звернути увагу на твердість, колір, блиск, колір мінералу в порошку (риска).

Користуючись довідником мінералів (табл. 7.1, 7.2), провести діагностику оксидів і гідроксидів, записати кристалічну формулу, охарактеризувати фізичні властивості, описати умови утворення та застосування у виробництві силікатних матеріалів. Результати оформити у вигляді табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Опис морфологічних особливнстей та властивостей оксидів та гідроксидів

Найменування та мінералу кристалічна формула	Клас, підклас	Тип структури	Сингонія та форма кристалу	Колір мінералу	Колір риси	Блиск	Твердість	Спайність, злом	Щільність, г/см^3	Інші діагностичні властивості	Походження	Родовище

Лабораторна робота 8. ***Вивчення мінералів солей безкисневих та кисневих кислот (галоїдів, карбонатів, сульфатів, вольфраматів, фосфатів)***

Мета: ознайомитися з колекцією мінералів класів сульфатів, галогенідів і нітратів, визначити їх; вивчити їх основні діагностичні ознаки, умови утворення та області застосування.

Матеріали та обладнання: мінерали класів сульфатів, галогенідів і нітратів; шкала твердості Мооса; фарфорова пластинка, спиртівка, концентровані та 10% HCl, концентровані KOH, NaOH, H_2SO_4.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

✓ Які мінерали належать до класу галоїдів? Які їхні характерні фізичні властивості (наприклад, для галітів, флюоритів)?

✓ Що таке карбонатні мінерали? Які хімічні реакції (наприклад, з HCl) допомагають їх ідентифікувати?

✓ Які фізичні властивості (твердість, спайність, колір) характерні для сульфатів, таких як гіпс чи ангідрит?

✓ Як форма кристалів і габітус допомагають відрізнити карбонати (наприклад, кальцит) від сульфатів?

✓ Які мінерали належать до вольфраматів і фосфатів? Назвіть приклади та їх промислове значення.
✓ Як оптичні властивості (прозорість, блиск) галоїдів, таких як флюорит, відрізняються від карбонатів?
✓ Які методи діагностики використовуються для ідентифікації солей безкисневих і кисневих кислот у лабораторії?
✓ Яке значення мають карбонати (наприклад, кальцит, доломіт) у формуванні осадових порід?
✓ Як агрегати мінералів цього класу (наприклад, натічні форми кальциту) впливають на їх визначення?
✓ Які труднощі можуть виникати під час ідентифікації мінералів цього класу через їхню схожість за зовнішніми ознаками?

Теоретична частина

Галогеніди. До мінералів цього класу належать солі галогеноводневих кислот HF, HCl, HBr або сполуки зі складними аніонними групами $[AlF_6]^{3-}$, $[SiF_6]^{2-}$ тощо. Загалом відомо близько 120 мінералів цього класу. Важливу роль у складі земної кори відіграють лише хлориди Na, K, Mg (галіт, сильвініт, карналіт) і фториди (флюорит, кріоліт тощо). Інші сполуки трапляються в незначних кількостях, найчастіше у вигляді ізоморфних домішок, твердих розчинів або продуктів приєднання до солей інших кислот.

У чистому вигляді мінерали класу галогенідів зазвичай прозорі й безбарвні, але через наявність механічних домішок або утворення твердих розчинів з Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+} і Cu^{2+} набувають різноманітного забарвлення: зеленого, синьо–зеленого, жовтого, червоного. Галогеніди важких металів (Ag, Cu, Hg) зазвичай мають жовте забарвлення. Мінерали цього класу вирізняються досконалою спайністю, невисокою твердістю (2–4), доброю розчинністю у воді, гірко–солоним смаком; більшість галогенідів належить до діелектриків.

Переважна більшість галогенових сполук легких металів характеризується типовим іонним зв'язком, а галогеніди важких металів – ковалентним. Галогеніди типів AX і AX_2 мають кубічну та октаедричну форми кристалів. Нижчі сингонії характерні лише для галогенідів важких металів, що містять воду або гідроксильну групу. Згідно зі структурою серед галогенідів трапляються координаційні, острівні, шаруваті, рідше – ланцюгові представники, з яких найпоширенішими є координаційні. Галогенові мінерали утворюються осадовим шляхом.

Нітрати. До цього класу належать мінерали – солі азотної кислоти, які зазвичай називають селітрами. Усі ці мінерали є відносно рідкісними; разом із проміжними мінералами, в яких нітратна група частково заміщена сульфатною, відомо 9 представників цього класу. Найважливішими є нітрати лужних металів – Na і K (натрієва та калієва селітри); другорядну роль відіграють нітрати лужноземельних металів – Mg, Ca і Ba.

Зазвичай селітри трапляються у вигляді гелеподібних мас, висолів, кірочок, нальотів. Для них характерна добра розчинність у воді, пекучий смак. При нагріванні з порошком вугілля селітри спалахують, особливо після попереднього просушування. Для нітратів характерна острівна структура. Їх структурною основою є трикутні групи $[NO_3]^-$, які з'єднуються між собою за допомогою катіонів.

Сульфати. У природі відомо близько 120 мінералів класу сульфатів, які становлять приблизно 0,1% маси земної кори. Сульфати – це солі сірчаної кислоти, до складу яких входять лужноземельні (Mg, Ca, Sr, Ba) і лужні (K, Na) елементи, а також Pb, Cu, Fe, Al. Деякі сульфати містять додаткові аніони $[PO_4]^{3-}$, $[AsO_4]^{3-}$ тощо. Серед сульфатів виділяють безводні, водні та складні – з додатковими аніонами $[OH]^-$. Найпоширенішими представниками класу сульфатів є гіпс, барит, целестин, ангідрит, алуніт, мірабіліт тощо.

Попри велике різноманіття сульфатів, кількість стійких і широко поширених у земній корі мінералів цього класу є порівняно невеликою. Найбільш стійкими є сульфати Ba, Sr і Pb.

Основною структурною одиницею сульфатів є тетраедр $[SO_4]^{2-}$, у центрі якого розташований іон сірки, а на вершинах – іони кисню. У загальну структуру такі групи об'єднуються за допомогою катіонів, додаткових аніонів або молекул води, внаслідок чого утворюються острівні, ланцюгові та шаруваті типи структур. Залежно від розмірів катіонів вони мають координацію 6, 8 або 12. Структура сульфатів істотно змінюється при наявності кристалізаційної води. Спільність кристалічної структури сульфатів зумовлює їх схожі хімічні та фізичні властивості: світле, часто біле забарвлення, низьку твердість (менше 3,5), досконалу спайність, ромбічну або моноклінну сингонію; вони практично не реагують з 10% розчином соляної кислоти.

Сульфати утворюються переважно осадовим шляхом або при гідротермальних процесах.

Карбонати широко поширені в природі. Складають основу всіх вапняків та інших карбонатових порід. У хімічному відношенні являють собою солі вугільної кислоти H_2CO_3 . Характерна особливість їхніх властивостей – світле, часто мінливе за рахунок домішок забарвлення, низька твердість (3), досконала спайність у трьох напрямках за ромбоедром.

Більшість карбонатів відрізняються за взаємодією з соляною кислотою ("закипають" на холоді, в порошку або в порошку при нагріванні).

Карбонати широко використовують у будівництві для отримання в'яжучих і як флюси в металургії (кальцит, доломіт), для виробництва вогнетривів (магнезит) та як руди чорних і кольорових металів (сидерит, малахіт, азурит та ін.).

Вольфрамати – солі вольфрамової кислоти H_2WO_4 . З невеликого класу вольфраматів розглядаємо лише два мінерали: вольфраміт $[Fe, Mn]WO_4$ і шеєліт $CaWO_4$, що відрізняються високою густиною, досконалою спайністю, але різні за забарвленням, умовами утворення та парагенезису. Шеєліт – світле забарвлення мінералу із скляним чи жирним блиском, утворюється під час контактового метасоматозу вапняків у скарнах разом із силікатами кальцію.

Вольфраміт – темнопофарбований від бурого до чорного кольору мінерал, що трапляється в пегматитових і пневматолітових жилах із кварцом, мусковитом тощо. Обидва мінерали утворюють руди вольфраму.

Фосфати – солі фосфорної кислоти H_2PO_4. До них належить апатит $Ca_5(PO_4)_3$ (F, Cl, OH) і полімінеральна суміш апатиту з глинистими мінералами – фосфорит. Апатит утворюється шляхом кристалізації з магми у вигляді зернистих цукроподібних агрегатів, а фосфорит – у вигляді кулястих і неправильної форми конкрецій серед осадових гірських порід.

Обидва мінерали – цінні агрономічні руди, слугують для виробництва фосфорних добрив. Їхню класифікацію та коротку характеристику наведено в табл. 8.1.

Методика виконання роботи та складання звіту.

Після вивчення фізичних властивостей кожного мінералу та виокремлення їхніх особливостей, характерних для конкретного зразка навчальної колекції, отримані дані заносять у зошит у вигляді табл. 8.2. обов'язково за класами. Студенти мають заповнити загальну характеристику кожного класу та діагностичні ознаки окремих мінералів, навчитися їх розрізняти, чітко уявляти, для якої мети застосовують кожен мінерал.

Під час вивчення властивостей цих мінералів потрібно спиратися спочатку на коротку характеристику кожного класу, а потім на наведені в табл. 8.1. властивості кожного мінералу окремо.

Основні діагностичні характеристики мінералів класів сульфатів, галогенідів і нітратів наведено в табл. 8.1 та в визначнику мінералів (табл. 1, 2 у додатку).

Таблиця 8.2 – Опис морфологічних особливостей та властивостей галогенідів, нітратів та сульфатів

Найменування та мінералу кристалічна формула	Клас, підклас	Тип структури	Сингонія та форма кристалу	Колір мінералу	Колір риски	Блиск	Твердість	Спайність, злом	Щільність, г/см^3	Інші діагностичні властивості	Походження	Застосування

Таблиця 8.1 – Характеристика галагенидів, нитрітів, сульфатів

Мінерал	Сингонія	Походження	Область застосування	Родовище
Галогеніди				
Галит (кам'яна сіль) NaCl	Кубічна	Екзогенне – хімічне осадження з вод солоних озер та мілководних лагун	Харчова промисловість. виробництво глазур, емалей, соляної кислоти, соди, хлору	Україна (Артемівськ), Росія (Солікамськ). Білорусь (Солнгорськ)
Сільвін КС1	Кубічна	Екзогенне – хімічне осадження з вод солоних озер та мілководних лагун	Виробництво добрив, хімічної промисловості. виробництво емалей та глазурі	Україна (Артемівськ). Росія (Солікамськ), Білорусь (Солнгорськ)
Флюорит (плавиковий пшат) CaF_2	Кубічна	Гідротермальне, іноді екзогенне – відкладення із соленосних розчинів	Металургійна, хімічна промисловість – виробництво плавикової кислоти, емалей, глазур, оптики	Росія (Забайкаля. Московська область), Казахстан. Киргизстан
Карналіт $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$	Ромбічна	Екзогенне – хімічне осадження із вод солоних озер	Сировина для отримання добрив	Росія (Солікамськ). Білорусь (Солнгорськ)
Кріоліт $Na_3[AlF_6]$	Моноклінна	Магматичне (у пегматитах)	Виробництво молочно–білого скла, емалей	Росія (Південний Урал)
Нітрати				
Селітра натрієва (чілійська, нітронатрит) $NaNO_3$ Селітра калієва (індійська, нітрокатит) KNO_3	Тригональна	Екзогенне (біохімічне розкладання азотовмісних органічних речовин)	Виробництво добрив, харчова, скляна промисловість. отримання глазурі, вибухових речовин	Казахстан. Середня Азія

Сульфати				
Барит (важкий шпат) $Ba[SO_4]$	Ромбічна	Гідротермальне, осадове разом із карбонатами	Обтяжувач у складі глинистих бурових розчинів. хімічна, паперова. лакофарбова промисловість, складова частина штукатурки для рентген–кабінетів	Західна Грузія. Туркменія
Целестин $Sr[SO_4]$	Ромбічна	Осадове разом із доломітом. гіпсом	Хімічна. скляна промисловість. виробництво глазур, кераміки	Росія (Поволжжя. Башкирія). Україна (Крим)
Англезит $Pb[SO_4]$	Ромбічна	Зони окислення свинцево–цинкових родовищ	Свинцева руда, виробництво скла, глазур, кераміки	Росія (Урал, Забайкалля. Алтай)
Ангідрит $Ca[SO_4]$	Ромбічна	Осадове з соленосних басейнів, що випаровуються.	Виробництво цементу, застосовується як обробний та виробний камінь	Україна (Донбас), Росія (Приуралля)
Алуніт (квасцовий камінь) $KAl_3[SO_4]_2(OH)_6$	Тригональна	Гідротермальне низькотемпературне	Сировина для отримання галунів. сульфату алюмінію та оксиду алюмінію	Азербайджан. Росія (Урал)
Гіпс $Ca[SO_4]\cdot 2H_2O$	Моноклінна	Осадове з соленосних басейнів, що випаровуються.	Цементна промисловість. отримання виливків, ліпних прикрас, штукатурних розчинів, емалей, глазурі	Україна (Донбас), Росія (Приуральє. Башкирія), Дагестан. Туркменістан
Мірабіліт (глауберова сіль) $Na_2[SO_4]\cdot 10H_2O$	Моноклінна	Осадове з соленосних басейнів, що випаровуються.	Виробництво соди, скляна промисловість, виготовлення фарб	Туркменістан (Кара–Богаз–гол), Казахстан

Лабораторна робота 9. *Вивчення морфологічних особливостей та властивостей силікатів*

Мета роботи: ознайомитись з колекцією мінералів класу силікатів, вивчити їх основні діагностичні ознаки у взаємозв'язку з типами структур, галузі застосування та умови освіти.

Матеріали та обладнання: мінерали класу силікатів; шкала твердості Мооcу; порцелянова платівка; концентровані HCl, H_2SO_4 та NaOH, лупа; спиртівка.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

- ✓ Що таке силікатні мінерали? Яка їхня основна хімічна структура?
- ✓ Які фізичні властивості (твердість, спайність, питома вага) характерні для силікатів, таких як кварц, польові шпати чи слюди?
- ✓ Як класифікуються силікати за структурою (острівні, ланцюгові, шаруваті тощо)? Наведіть приклади для кожної групи.
- ✓ Які оптичні властивості (колір, блиск, прозорість) допомагають ідентифікувати силікати, наприклад, берил чи турмалін?
- ✓ Як форма кристалів і габітус силікатів (наприклад, призматичні кристали епідоту) використовуються для їх діагностики?
- ✓ Які силікатні мінерали є найпоширенішими в земній корі? Назвіть їх і поясніть їх значення.
- ✓ Які методи застосовуються для ідентифікації силікатів у зразках гірських порід?
- ✓ Яке значення мають силікати (наприклад, олівін, піроксени) у магматичних і метаморфічних породах?
- ✓ Як агрегати силікатів (наприклад, волокнисті форми хризоліту) впливають на їх визначення?
- ✓ Які труднощі можуть виникати під час ідентифікації силікатів через їхню різноманітність і поліморфізм?

Теоретична частина

Силікати – дуже розповсюджений клас мінералів, який спільно з вільним кварцом становить 87% маси земної кори. Вони є основою багатьох гірських порід найрізноманітнішого походження, зокрема порід, що вміщують цінні корисні копалини, які широко використовують у будівництві та виробництві кераміки і вогнетривів. З іншого боку, багато силікатів самі є цінними корисними копалинами. Серед силікатних руд велике значення мають руди нікелю, цинку, берилію, урану, торію тощо. Багато силікатів використовують як дорогоцінне і декоративне каміння (смарагд, топаз, гранати, нефрит тощо).

Основна структура силікатів – кремнекисневий тетраедр $(SiO_4)^{4-}$, де кожен іон $(Si)^{4+}$, завжди перебуває в оточенні чотирьох іонів O^{2-}, розташованих у вершинах тетраедра. Кремнекисневі тетраедри пов'язані з різними катіонами металів. З'єднуючись між собою, кремнекисневі тетраедри утворюють різні структури, що покладено в основу класифікації силікатів.

Силікати є найбільш численним класом мінералів, що включає в себе спільно з різновидами до 500 перед–ставників, що становить близько чверті всіх відомих мінералів та близько 85% маси земної кори. Силікати дуже різноманітні як за своїми фізичними характеристиками, так і оптичними властивостями, які визначаються їхньою внутрішньою структурою. Основою структури силікатів є кремнекисневий тетраедр $[SiO_4]^{4-}$ (рис. 9.1). Такі тетраедри об'єднуються в групи, що утворюють різні типи кремнекисневих структур: острівні (окремі групи $[SiO_4]^{4-}$) та окремі кремнекисневі комплекси $[Si_2O_7]^{6-}$, кільцеві, ланцюжкові, стрічкові, листові та каркасні.

Більшість силікатів (73%) кристалізується в нижчих сингоніях (головним чином моноклінної), рідше (18%) зустрічаються силикати, що кристалізуються в середніх сингоніях, а ще більш рідкісні (9%) силікати кубічної сингонії.

Аналогічно оксидам силікати – стійкі мінерали, які важко розчиняються у воді та кислотах. Однак на земній поверхні вони з часом руйнуються, часто утворюючи різні глинисті мінерали.

Острівні силікати. Серед них розрізняються силікати з ізольованими кремнекисневими тетраедрами та ізольованими групами тетраедрів.

Структурними одиницями силікатів з ізольованими кремнекисневими тетраедрами є кремнекисневі тетраедри $[SiO_4]^{4-}$, розташовані ізольовано один від одного (рис. 9.1, 9.2 а), які зв'язуються один з одним тільки за допомогою катіонів – Mg^{2+}, Fe^{2+}, Ca^{2+}, рідше Ni^{2+}, Mn^{3+}, Zn^{2+}, Mn^{3+}, Cr^{3+}, іноді Pb^{2+}, Be^{2+}, Ti^{4+}, Zr^{4+}, Th^{4+}.

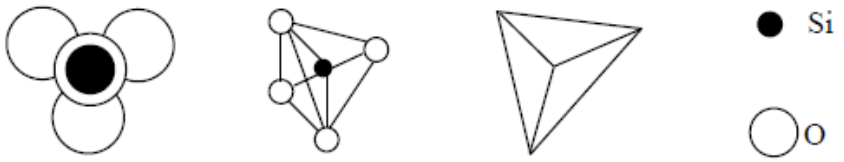
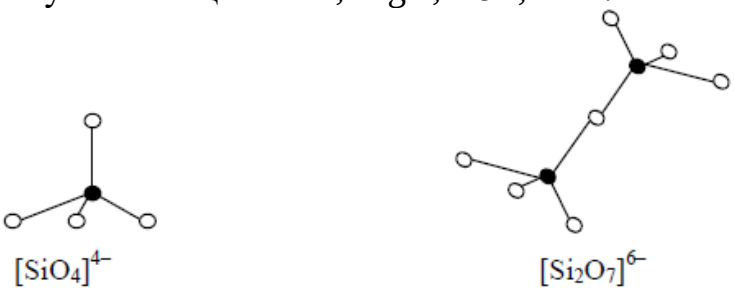


Рисунок 9.1 – Різні способи зображення кремнекисневого тетраедра

Мінерали цього підкласу нерідко зустрічаються у вигляді добре утворених ізометричних кристалів, мають високу твердість (6,5–8), сильний блиск, високі показники заломлення та часто підвищену температуру плавлення. Здебільшого вони слабо забарвлені, а забарвлення набувають за рахунок хромофорів. При взаємодії з HCl вони утворюють драглистий кремнезем.

Головними представниками острівних силікатів з ізольованими кремнекисневими тетраедрами є олівін, мінерали групи гранату (альмандин, піроп, андрадит та ін.), групи кіаніту (кіаніт, андалузит, силіманіт), циркон, топаз, сфен.

Серед силікатів із ізольованими групами тетраедрів можуть бути виділені силікати із ізольованими групами [Si2O7]6– – дисилікати, структура яких утворена відокремленими парами кремнекисневих тетраедрів, що містять по одному загальному атому кисню (рис. 9.2, б). Катіонами цих силікатів є переважно іони з великими радіусами – Ca^{2+}, Na^{+}, Ce^{2+}, La^{3+}, Se^{2+}, Pb^{2+}, Ba^{2+}, K^{+}, Zn^{2+}, Be^{2+}, а у складних з'єднаннях – у комбінації з Al^{3+}, Mg^{2+}, Be^{2+}, Zn^{2+}.



а *б*

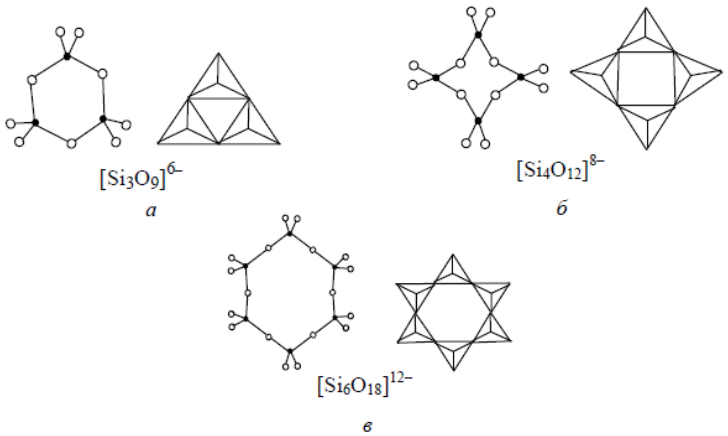
а – з поодинокими ізольованими тетраедрами; *б* – дисилікати

Рисунок 9.2 – Острівний тип структури силікатів

Дисилікати характеризуються високими щільністю та показником заломлення. Твердість та кислотостійкість підвищується з збільшенням вмісту Al та Be; за наявності Fe мінерали інтенсивно фарбуються.

До силікатів із ізольованими групами $[Si_2O_7]^{6-}$ належать епідот і мінерали групи меліліту (геленіт, окерманіт).

Кільцеві силікати. Для силікатів з кільцевими аніонами характерний вміст ізольованих груп $[SiO_4]^{4-}$, пов'язаних у кільця (рис. 9.3). Такі кільцеві угруповання можуть складатися з 3, 4, 6, також 8 і 12 тетраедрів з аніонними радикалами $[Si_3O_9]^{6-}$, $[Si_4O_{12}]^{8-}$, $[Si_6O_{18}]^{12-}$ та ін.



а – трьох–, б – чотири–, в – шестичленні відокремлені кільця о цього підкласу мінералів відносяться берил, кордієрит, турмалін та ін.

Рисунок 9.3 – Кільцевий тип структури

Ланцюгові силікати. Основу структури силікатів цього підкласу утворюють кремнекисневі ланцюжки – зчленування кремнекисневих тетраедрів $[SiO_3]^{2-}$, у яких два атоми кисню пов'язані з кремнієм повністю, а два інші – лише наполовину (рис. 9.4). З'єднання у структурі кристала здійснюється за допомогою катіонів Mg^{2+}, Fe^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+}, іноді Li^{+}, а також Al^{3+}, Fe^{3+} за рахунок вільної валентності кисню. Радикалом цих силікатів є нескінченний ланцюжок з кремнекисневих тетраедрів $[SiO_3]^{2-}$ або $[Si_2O_6]^{4-}$ і більш складних. Серед аніонів у ланцюжкових силікатах, крім $[SiO_4]^{6-}$, може бути радикал $[AlO_4]^{5-}$, а також $[OH]^{-}$, F^{-}, Cl^{-}

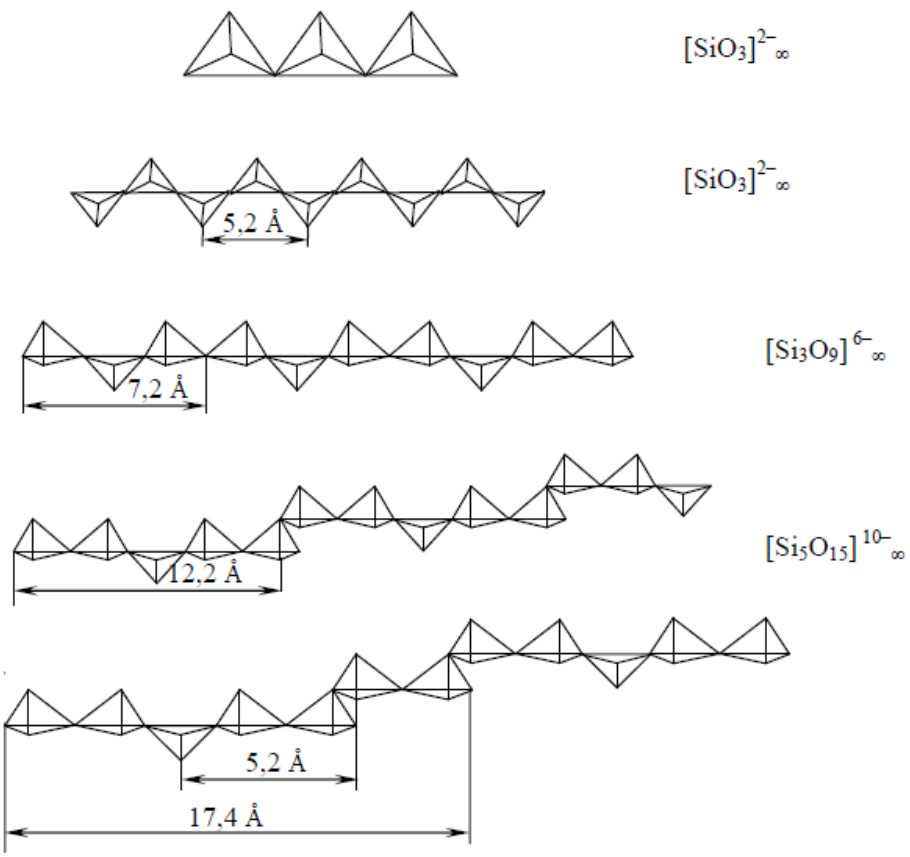


Рисунок 9.4 – Ланцюжковий тип структури

Найголовнішими представниками ланцюжкових силікатів є піроксени (енстатит, гіперстен, діопсид, авгіт).

Стрічкові силікати. До цієї групи належать силікати, основою структури яких становлять відокремлені пояси або стрічки, що є вільними ланцюжками. Радикал цього типу силікатів $[Si_4O_{11}]^{6-}$ або $[Si_6O_{17}]^{10-}$ (рис. 9.5). У кожному кільці стрічки є один аніон $[OH]^{-}$, іноді Cl^{-}, F^{-}, O^{2-}.

Найбільш поширеними мінералами стрічкових силікатів є мінерали групи амфіболів (рогова обманка, тремоліт, актиноліт, антофіліт). До силікатів, що мають аніонну групу [Si6O17]10–, відносяться піроксеноїди – волластоніт і родоніт.

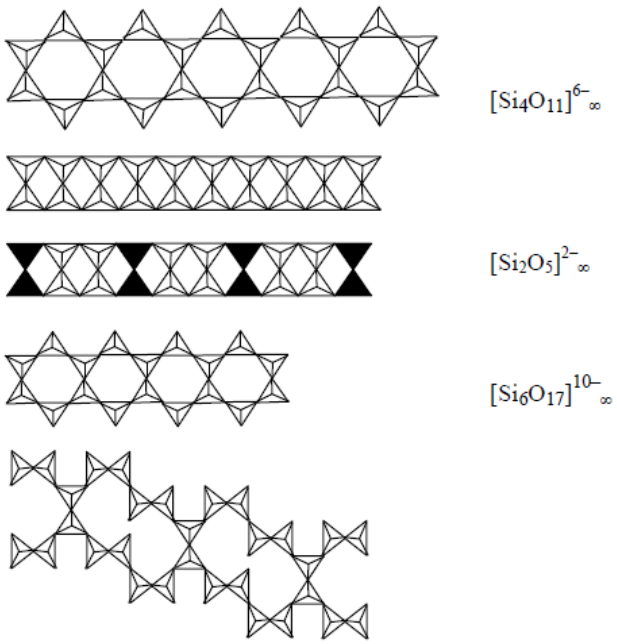


Рисунок 9.5 – Стрічкова структура

Шаруваті силікати. До них відносяться мінерали шарової (листової) структури, що складаються з кремнекисневих тетраедрів $[Si_4O_{10}]^{4-}$ (рис. 9.6), що утворюють шари, пов'язані один з одним катіонами. Головними з них є Mg^{2+} та Al^{3+}, при цьому Mg^{2+} часто заміщується Fe^{2+}, Ni^{2+}, рідше Mn^{2+}. Іноді місце Al^{3+} займає Fe^{3+}, рідше за Cr^{3+} або V^{3+}. У тих випадках, коли в радикалі $[Si_4O_{10}]^{4-}$ частина іонів Si^{4+} заміщена іонами Al^{3+} (тетраедри $[SiO_4]^{4-}$ частково замінені на тетраедри $[AlO_4]^{5-}$), до складу мінералу входять додаткові великі катіони K^+, Na^+, Ca^{2+}, а також молекул.

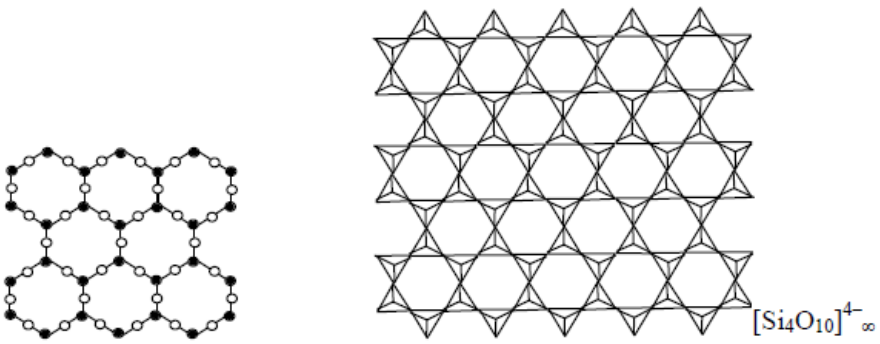


Рисунок 9.6 – Листовий тип структури

Для мінералів цього підкласу характерна наявність у складі групи $[OH]^-$, нерідко разом із F^-. У хімічному відношенні ці мінерали є силікатами, що містять гідроксил Mg, Fe, K та інших елементів.

Фізичні властивості мінералів даного класу перебувають у прямій залежності від їхньої структури. Для них характерна досконала спайність, завдяки чому вони легко розщеплюються на тонкі листочки і лусочки внаслідок того, що зв'язок усередині кремнекисневих шарів набагато міцніший, ніж між окремими кремнекисневими шарами, де вона здійснюється в основному катіонами.

Головними представниками листових силікатів є мінерали групи слюд (мусковіт, біотит, флогопіт), тальк, пірофіліт, мінерали групи глин (каолініт, галуазит, монтморилоніт, хлорит, серпентин), мінерали групи гідрослюд (глауконіт, вермікуліт).

Каркасні силікати та алюмосилікати. Основою структури каркасних силікатів є безперервний тривимірний каркас із зв'язаних між собою кремнекисневих тетраедрів. Атоми кисню всіх тетраедрів є спільними, тому в чистій структурі такого типу всі зв'язки кремнію насичені киснем, і можливість входження до структури інших атомів у цьому випадку виключається (рис. 9.7).

У тому випадку, коли частина чотиривалентного кремнію в кремнекисневому тетраедрі заміщається тривалентним алюмінієм, з'являється один ненасичений зв'язок, що компенсується іншими металевими катіонами – K^+, Na^+, Ca^{2+}, рідше Ba^{2+}, Rb^{2+}, Cs^{2+}.

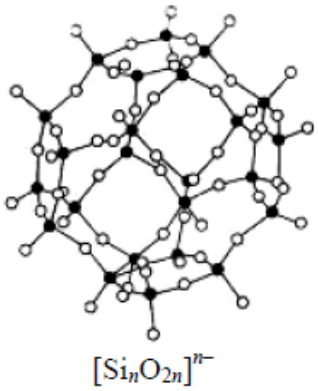


Рисунок 9.7 – Каркасний тип структури

Так, при заміщенні однієї чверті атомів кремнію атомами алюмінію, група $[Si_4O_8]$ заміщується групою $[AlSi_3O_8]^-$. Одна валентність кисню залишається ненасиченою, алюмокремнієва група зберігає стійкість лише при введенні в ґрати додаткових катіонів, наприклад, калію – $K[AlSi_3O_8]$. Така будова має мікроклин та ортоклаз. При заміні в такій групі $[Si_4O_8]$ половини кремнію алюмінієм виникають два ненасичені зв'язки і алюмінієва група $[Al_2Si_2O_8]^{2-}$ отримує два заряди, що дає можливість впровадження у ґрати іону кальцію – $Ca[Al_2Si_2O_8]$. Така будова має анортит.

Прикладом каркасних силікатів є мінерали групи польових шпатів (альбіт, мікроклін, ортоклаз, анортит, цельзіан), групи фельдшпатоїдів (лейцит, нефелін, лазурит, содаліт), групи цеолітів (натроліт). Плагіоклазами називають мінерали, утворені ізоморфною сумішшю альбіту $Na[AlSi_3O_8]$ та анортиту $Ca[Al_2Si_2O_8]$. Номер плагіоклазу вказує на масовий вміст анортиту (An) у молекулі мінералу у відсотках. За вмістом анортиту розрізняються власне анортит (90–100% An), бітовніт (70–90% An), лабрадор (50–70% An), андезин (30–50% An), олігоклаз (10–30% An) та альбіт (0–10% An).

Основні діагностичні ознаки силікатів наведено у табл. 9.1 та у визначнику мінералів (табл. 1, 2 у додатку).

Таблиця 9.1 – Характеристика силікатів

Мінерал	Сингонія	Походження	Область застосування	Родовище
Силікати із ізольованими тетраедрами [SiO_4] (острівні)				
Циркон $Zr[SiO_4]$	Тетрагональна	Магматичне, іноді розсипи	Виготовлення кислото– та вогнетривких тиглів, посуду, емалей, стійких фарб	Росія (Урал)
Олівін $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ Форстерит $Mg_2[SiO_4]$ Фаяліт $Fe_2[SiO_4]$	Ромбічна	Магматичне, метаморфічне (у доломітових мармурах)	Виготовлення форстеритових вогнетривів, ювелірне виробництво	Росія (Урал, Забайкалля), Закавказьє
Топаз («важкоатлет») $Al_2[SiO_4](F, OH)_2$	Ромбічна	Гідротермальне, пневматолітове – пегматити, грейзени	Ювелірне виробництво	Росія (Урал, Схід. Сибір), Україна (Волинь)
Андалузит $Al_2[SiO_4]O$	Ромбічна	Метаморфічне	Високоглиноземна сировина, виробництво вогнетривких виробів, футерування печей	Казахстан (Семіз–Бугу)
Силіманіт $Al[SiAlO_5]$	Ромбічна	Контактно–мета–морфічне	Високоглиноземна сировина, виробництво вогнетривких виробів, футерівка печей	Росія (Кольський півострів)
Ставроліт $Fe^{2+}Al_4[SiO_4]O_2(OH)_2$	Ромбічна	Метаморфічне	Практичного застосування не має	Росія (Урал, Тай–мир)
Кіаніт (дистен) $Al_2[SiO_4]O$	Триклінна	Метаморфічне	Високоглиноземна сировина, виробництво вогнетривких виробів, футерування печей	Росія (Кольський півострів, Урал)
Гранати: піроп $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$ альмандин $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$ гросуляр $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$	Кубічна	Контактно–метасо–матичний (у скарнах), метаморфічний (у кристалічних сланцях), іноді магматичний	Абразивні матеріали, ювелірне виробництво (напівкоштовні камені)	Росія (Урал), Закавказзя

андрадит $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$ уварить $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$				
Сфен (титаніт) $CaTi\,[SiO_4]$	Моноклінна	Магматичне, метаморфічне	Сировина для одержання оксиду титану, виробництво фарб	Росія (Урал, Коль–ський півострів)
Силікати із ізольованими групами тетраедрів $[SiO_4]$ (кільцеві)				
Берилл Аква- марин Смарагд $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$	Гексагональна	Магматичне (у пегматитах)	Руда на берилій, ювелірне виробництво	Росія (Урал, Забайкалля)
Турмалін $(Na, Ca)(Mg, Al)_6\,[B_3Al_3Si_6O_{27}](OH)_2$	Тригональна	Манматичне (в пегматитах), гідротермальне	Ювелірне виробництво, радіотехніка	Росія (Урал, За–байкалля), Середня Азія
Данбуріт $CaB_2[SiO_4]_2$	Ромбічна	Контактно–мета–морфічне	Виробництво скла, керамічних виробів	Україна (Крим), Росія (Сибір)
Кордієрит (іоліт) $Al_3(Mg, Fe)_2 \cdot [Si_5AlO_{18}]$	Ромбічна	Метаморфічне (у гнейсах, сланцях)	Виготовлення кордієри–твій кераміки	Росія (Забайка–льє, Урал)
Воластоніт (дощатий шпат) $Ca_3[Si_3O_9]$	Триклінна	Контактно–метасо–матичний (у мармурах)	Високоякісна кераміка, глазурі, емалі, матеріал для теплоізоляції	Росія (Урал), Північний Казахстан
Родоніт (орлець) $(Mn, Ca)[SiO_3]$	Триклінна	Контактово– метасоматичне	Виробний та облицювальний очний камінь	Росія (Урал)
Силікати з безперервними ланцюжками тетраедрів $[SiO_4]$ (ланцюжкові)				
Енстатит $Mg_2[Si_2O_6]$	Моноклінна	Магматичне	Енстатитова кераміка	Росія (Урал, Сибір), Кавказ

Діопсид $CaMg[Si_2O_6]$	Моноклінна	Магматичне, контактово–мета–соматичне, метаморфічне	Виробництво облицювальної кераміки, ситалів, кислототривких та футерувальних матеріалів	Росія (Урал, Сибір, Кольський півострів), Середня Азія
Авгіт $Ca(Mg, Fe, Al)[(Si,Al)_2O_6]$	Моноклінна	Магматичне, контактово–мета–соматичне	Виробництво кислото–упорних матеріалів	Росія (Урал)
Сподумен $LiAl[Si_2O_6]$	Моноклінна	Магматичне	Виробництво спеціальних видів скла, ситалів, вогнетривких виробів	Росія (Забайкалля), Казахстан
Силікати з подвійними ланцюжками тетраедрів $[SiO_4]$ (стрічкові)				
Тремоліт Азбест волокнистий $Ca_2Mg_3[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$	Моноклінна	Метаморфічне	Теплоізоляційний матеріал	Росія (Урал, Прибайкалля)
Актиноліт (променистий камінь), нефрит прихований кристалічний, азбест $Ca_2(Mg, Fe^{2+})_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$	Моноклінна	Метаморфічне	Виробництво кислото–упорів, ювелірне виробництво	Росія (Урал, Прібайкаллі), Середня Азія
Рогова обманка $Ca_2Na(Mg, Fe^{2+})_4(Al, Fe^{3+})$ $[(Si, Al)_4O_{11}]_2 (OH)_2$	Моноклінна	Магматичне, метаморфічне	Керамічне виробництво	Росія (Урал, За–байкалля), Білорусь (Мікашевичі)
Епідот $Ca_2(Al, Fe)_3[Si_3O_{11}](OH)$	Моноклінна	Метаморфічне, гідротермальне	Виробний камінь	Росія (Південний Урал)
Силікати з безперервними шарами тетраедрів [SiO4] (листові)				
Тальк (стеатит, жировик) $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	Моноклінна	Гідротермальнезміна багатих магнієм ультраосновних порід	Виробництво електротехнічної (стеатитової) та кордієритової кераміки, глазурів, кислото– та вогнеупорних матеріалів	Росія (Урал, За–байкалля)
Флогопіт (магнезіальна слюда) $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	Моноклінна	Контактно–мета–соматичний, магматичний (у пегматітах), метаморфічне (в кристаллічних сланцях)	Електропромисловість (ізолятори), виробництво вогнестійких будівельних матеріалів, керамічних виробів	Росія (Забайкалля, Сибір)

Біотит (чорна залозисто–магнезіальна слюда) $K(Mg, Fe)_3 [AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	Моноклінна	Магматичне, метаморфічне	Практичного значення не має	Росія (Урал, Забайкальє)
Мусковіт (біла калійна слюда) Серицит – скритолуский $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	Моноклінна	Магматичне, гідротермальне, метаморфічне (в гнейсах, кварцитах)	Електропромисловість (ізолятори), виробництво вогнестійких будівельних матеріалів, керамічних виробів	Росія (Карелія, Східний Сибір, Урал)
Хлорит $(Mg, Fe)_{4–5}Al_{1–2} [Al_{1–2}Si_{2–3}O_{10}](OH)_8$	Моноклінна	Гідротермальне низькотемпературне, метаморфічне	Паперове виробництво	Росія (Урал)
Вермікуліт $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$	Моноклінна	Хімічне вивітрювання та гідротермальне, зміна біотиту, флогопіту	Тепло– та звукоізоляційний матеріал, легкий заповнювач бетону	Росія (Урал)
Глауконіт $K_{<1}(Fe^{+3}, Fe^{2+}, Al, Mg)_{2–3}$ $[Si_3(Si, Al)O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$	Моноклінна	Опадове	Калійні добрива, стійка зелена фарба, пом'якшувач жорсткої води	Росія (Поволжя), Білорусь, Україна
Каолініт $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	Моноклінна	Хімічне вивітрування алюмосиликатних гірських порід	Виробництво кераміки (порцеляна, фаянс), вогнетривів, цементного клінкеру	Україна, Росія (Урал)
Монтморилоніт $m\{Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot p\{[(Al, Fe^{3+})_2$ $[Si_4O_{10}](OH)_2\} \cdot nH_2O$	Моноклінна	Хімічне вивітрювання основних порід	Виробництво кераміки, очищення нафтопродуктів, виготовлення текстилю, резини, паперу, мила та ін.	Україна (Крим), Росія (Нальчик, Куйбишевська область), Грузія
Серпентін $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	Моноклінна	Гідротермальнезміна ультра–основних порід	Виготовлення форстеритових вогнетривів, камінь для облицювання	Росія (Урал), Закавказзя

Галлуазит $Al_4[Si_4O_{10}]\ (OH)_8 \cdot 4H_2O$	Моноклінна	Хімічне вивітрування основних порід	Практичного значення не має	Росія (Урал), Україна (Кривий Ріг)
Аллофан $mAl_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot pH_2O$	Аморфна	Екзогенне – у зонах окислення рудних родовищ. ній та порід	Керамічна промисловість, виробництво неорганічних фарб та клею	Росія (Урал, Хакасія, Нальчик), Таджикистан
Силікати з безперервними тривимірними каркасами з тетраедрів [(Si, Al)O_4] (каркасні)				
Плагіоклази $(100 - n)NaAlSi_3O_8 + nCaAl_2Si_2O_8$ Альбіт (натрієвий польовий шпат) $Pl_{0–10}$ Олігоклаз $Pl_{10–30}$ Андезін $Pl_{30–50}$ Лабрадор $Pl_{50–70}$ Битовніт $Pl_{70–90}$ Анортит (кальцієвий польовий шпат) $Pl_{90–100}$	Триклінна	Магматичне, метаморфічне, в пегматитових жилах	Керамічна промисловість, облицювальний камінь (лабрадор)	Росія (Урал, Забайкалля, Карелія), Україна (Волинь)
Ортолаз (калієвий польовий шпат) Адуляр $K[AlSi_3O_8]$	Моноклінна	Магматичне в кислих породах, у пегматитах	Скляна, керамічна промисловість	Росія (Урал), Україна
Мікроклін (калієвий польовий шпат) Амазоніт $K[AlSi_3O_8]$	Триклінна	Магматичне в кислих породах, пегматитах, метасоматичне	Скляна, керамічна промисловість	Росія (Урал, Карелія), Україна (Волинь), Білорусь (Мі–кашевичі)
Цельзіан (барієвий польовий шпат) $Ba[Al_2SI_2O_8]$	Моноклінна	Контактно–мета–морфічне	Виробництво спеціальних фарфорів та вогнетривів	Росія (Слюдянка)
Нефелін $Na[AlSiO_4]$	Гексагональна	Магматичне в лужних породах	Джерело алюмінію, отримання скла високої термічної та механічної стійкості, заміни–тель ортоклаза в кераміці	Росія (Урал, Коль–ський півострів), Таджикистан

Лазурит (ляпис–блакит, блакитний камінь, ультрамарин) $Na_8[AlSiO_4]_6[SO_4]$	Кубічна	Контактно–мета–соматичне	Виробний камінь, природна синя фарба	Росія (Слюдянка), Таджикистан
Натроліт (натровий камінь) $Na_2[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$	Ромбічна	Гідротермальне низькотемпературне	Каталізатори, «молекуляр–ні сита», очищення питної води, добрива	Росія (Урал), Україна–на (Крим), Кавказ

Методика виконання роботи та складання звіту

Засвоївши фізичні властивості силікатів і навчившись відрізняти їх один від одного, необхідно оформити лабораторну роботу. Для цього студенти заносять результати своїх спостережень до зошита з лабораторних робіт у вигляді таблиці, аналогічної наведеній у методичних вказівках, тільки властивості мінералів конкретизують за зразками навчальної колекції, тобто зазначають ті, що характерні для конкретного зразка, який студенти вивчають.

Користуючись визначником мінералів (табл. 1, 2 у додатку), провести діагностику силікатів, написати кристалохімічну формулу, охарактеризувати фізичні властивості, описати умови утворення та застосування у виробництві силікатних матеріалів. Результати оформити як табл. 9.2.

Таблиця 9.2 – Опис морфологічних особливостей та властивостей силікатів

Найменування мінерала та кристалохімічна формула	Клас, підклас	Тип структури	Сингонія та форма кристалів	Колір мінералу	Колір риси	Блиск
Твердість	Спайність, злам	Щільність, г/см^3	Інші діагностичні властивості	Походження	Застосування	Родовище

Лабораторна робота 10. *Вивчення гірських порід за зовнішніми ознаками*

Мета: вивчення основних типів магматичних гірських порід, їх діагностичних властивостей, особливостей структури та текстури, а також із застосуванням їх у виробництві різних силікатних матеріалів.

Матеріали та обладнання: зразки гірських порід; таблиця класифікації гірських порід; шкала твердості Моосу; порцелянова платівка; мікроскоп; лупа.

Актуалізація знань.

Увага! Обговорення питань:

✓ Які зовнішні ознаки (колір, структура, текстура) є ключовими для визначення гірських порід?

✓ Як відрізнити магматичні породи від осадових і метаморфічних за їхньою структурою і текстурою?

✓ Які особливості кольору порід залежать від їхнього мінерального складу? Наведіть приклади.

✓ Як шаруватість осадових порід допомагає в їх ідентифікації? Назвіть приклади порід із вираженою шаруватістю.

✓ Які структури (зерниста, порфірова, скловата) характерні для магматичних порід? Як вони вказують на умови утворення?
✓ Як текстури (масивна, сланцева, смугаста) метаморфічних порід допомагають визначити їх походження?
✓ Які методи застосовуються для визначення гірських порід за зовнішніми ознаками в лабораторних умовах?
✓ Як пористість і уламковість осадових порід впливають на їх класифікацію? Наведіть приклади.
✓ Яке значення має мінеральний склад для ідентифікації порід? Як його можна оцінити за зовнішніми ознаками?
✓ Які труднощі можуть виникати під час визначення гірських порід за зовнішніми ознаками без додаткових аналізів?

Теоретична частина

Гірські породи являють собою агрегати різних мінералів, що утворюються в результаті тих чи інших геологічних процесів, і характеризуються тим, що займають великі площі в надрах земної кори або на її поверхні. Гірські породи вирізняються великою різноманітністю властивостей, що зумовлені різними властивостями мінералів, які їх складають, та особливостями будови, тобто ступенем кристалізації, густиною, взаємним розташуванням зерен тощо, що залежить від умов їхнього утворення.

Найголовнішими зовнішніми ознаками гірських порід є структура, текстура, мінеральний склад, колір, у деяких випадках питома вага і твердість.

Структура відображає будову породи, що характеризується ступенем кристалічності, абсолютною і відносною величиною і формою мінералів, які входять до породи, а також ступенем ідіоморфізму мінералів, який залежить від взаємного впливу мінералів, які входять до породи, та від їхньої здатності набувати за різних умов більш–менш правильного обмеження.

Текстура (складання) – сукупність ознак, що визначаються відносним розташуванням складових частин порід у займаному ними просторі.

Найбільш звичайними структурами гірських порід є такі:

1. **Кристалічно–зерниста** (зерниста) – структура кристалічних порід (без скла). Кристалічні зерна ясно помітні неозброєним оком. Кристали тісно прилягають один до одного без певного порядку розподілу (граніт, габро, сієніт).

За крупністю зерна зерниста структура може бути: грубозернистою (діаметр зерен понад 5 мм), середньозернистою (діаметр зерен від 3 до 5 мм), дрібнозернистою (діаметр зерен від 2 до 3 мм) і тонкозернистою (діаметр зерен менше 2 мм). За однорідністю зерна розрізняють: рівномірно і нерівномірно зернисту (порфірову, порфіровидну) структури.

Порфірова структура – у щільній, скловатій або тонкозернистій основній масі розсіяні включення відносно великих зерен (порфірові вкрапленники) окремих мінералів (кварцовий порфір, порфірит).

Порфіровидна структура – в основній зернистій масі спостерігаються виділення більших зерен (кристалів) окремих мінералів (граніт–рапакиви).

2. **Офітова** (діабазова). Проміжки між ідіоморфними таблитчастими кристалами (призмами) плагіоклазу зайняті великими неправильними (алотриоморфними) таблицями піроксена, в які вростають призми плагіоклазу (діабаз).

3. **Пегматитова**, або графічна. Порода складається з великих кристалів будь–якого мінералу, проростих однаково орієнтованими кристалами іншого мінералу. Особливо часто така структура спостерігається в гранітних пегматитах, де великі кристали польового шпату проростають кварцом у вигляді клиноподібних зростків (письмовий граніт).

4. **Афанітова**. Порода складається з дуже дрібних кристалічних зерен, що розрізняються тільки під лупою (базальт)

5. **Щільна** (прихованокристалічна). Складові частини породи не можна розрізнити ні простим оком, ні в лупу (яшма).

6. **Скловата**. Порода складається головним чином зі скловатої маси. Характеризує породи, багаті кремнеземом і бідні на кальцій, магній і залізо. Утворюється при швидкому застиганні лави на земній поверхні, (обсидіан, пехштейн).

7. **Оолітова**. Порода складається цілком або здебільшого з дрібних або більших (діаметром від 1 до 6 мм) кульок–конкрецій (оолітів) з радіально–променевою або концентрично–шкарлуповатою структурою (гороховий камінь, оолітовий бурий залізняк, боксит).

8. **Уламкова**. Порода складається з уламків різної величини, форми і кольору, цементованих у суцільну монолітну масу (конгломерат, пісковик).

9. **Землиста** (тонкоуламкова). Порода складається з дуже дрібних пилоподібних частинок або тонких лусочок. Вона легко розтирається між пальцями (глина, крейда, трепел, боксит).

10. **Катакластична**. Порода складається з розірваних, вигнутих, роздроблених, деформованих кристалів.

З текстури найбільш звичайними є.

Масивна (однорідна). Порода характеризується рівномірним розподілом складових частин (без особливого орієнтування). Окремі ділянки породи, взяті в різних пунктах її, однакові за складом і структурою.

Неоднорідна (такситова). Відрізняється від однорідної нерівномірним розташуванням складових частин у масі породи. Порода складається з ділянок або шарів різного мінерального складу або різної структури.

Смугаста, шарувато – смугаста (гнейсоподібна). У породі спостерігаються чергування смуг різного мінерального складу.

Очкова. У породі присутні овальної форми зерна або скупчення зерен (вічка або "окуляри"), оточені листуватими або зернистими складовими частинами породи. Зазвичай вічка складаються зі світло забарвлених мінералів, що різко виділяються на темному тлі породи.

Сланцевата (листувата). Порода розколюється на тонкі паралельні пластинки в певному напрямку. Сюди відносяться породи, що містять лускаті та

призматичні мінерали, розташовані більш–менш паралельними прошарками, проте порода на тонкі плитки не ділиться.

Волокниста. Порода складена більш–менш паралельно розташованими тонкошесотватими (волокнистими) мінералами.

Колір гірських порід залежить від їхнього мінерального складу, домішок і ступеня зміненості породи. Він може бути досить різноманітним – від сніжно–білого (трепел, крейда) до чорного (перидотит). Визначати колір породи слід при денному світлі, оскільки штучне освітлення часто спотворює забарвлення. Під час опису кольору необхідно враховувати також і вологість породи, тому що порода має різко різне забарвлення в сухому і вологому стані.

За умовами утворення гірські породи поділяють на три основні групи: магматичні (первинні), осадові (вторинні) та метаморфічні (видозмінені) рис. 10.1.

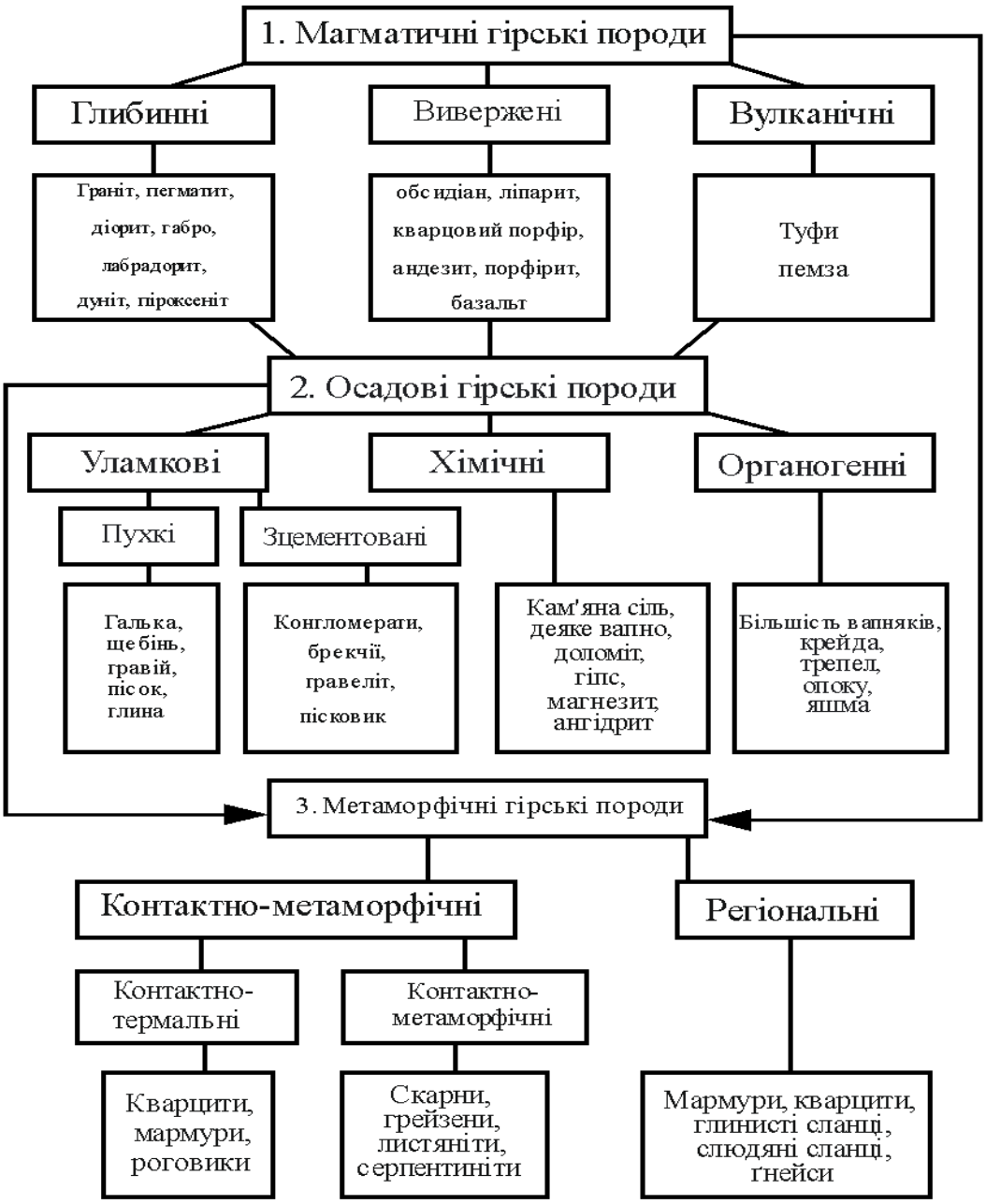


Рисунок 10.1 – Розподіл гірських порід за групами

Магматичні гірські породи утворилися під час кристалізації магми на глибині в земній корі (глибинні) або під час виливу її з кратера вулкана на поверхню (виливні). Окремо розглядаються вулканічні породи, що утворюються під час скупчення великої кількості великих і дрібних згустків застиглої в повітрі лави, які викидаються разом із газами з жерла вулкана під час вибухів під час виверження (табл. 10.2).

Глибинні породи зазвичай добре закристалізовані і мають зернисту будову.

Породи, що вилилися, дрібнокристалічні, іноді помітно пористі, містять, а іноді й повністю складаються з незакристалізованого вулканічного скла (скловата будова – обсидіан) або вирізняються порфіровою структурою (серед дрібнозернистої або скловатої маси помітно виділяються у вигляді вкраплень більші кристалики).

Вулканічні породи пористі, складаються з частинок вулканічного скла, що оплавляються (пемза), або з їхньої суміші з уламками застиглої лави (туфи).

Класифікація магматичних порід ґрунтується на їхньому хімічному та мінеральному складі. За хімічною класифікацією магматичні породи поділяються на такі групи (за вмістом SiO_2)

Ультракислі >75% SiO_2

Кислі 75–65% SiO_2

Середні 65–52% SiO_2

Основні 52–40% SiO_2

Ультраосновні <40% SiO_2

Виділяють ще лужні породи, для яких характерний великий вміст лужних оксидів (до 20%). Мінеральний склад магматичних порід закономірно змінюється залежно від вмісту в них SiO_2.

Зміна хімічного і мінерального складу по мірі зменшення вмісту SiO_2 у породі спричиняє зміну кольору породи. Так кислі, середні та лужні породи (породи, що містять кварц), польові шпати або замінники польових шпатів – фельдшпатоїди (нефелін), зазвичай забарвлені у світлі кольори (сірі, рожеві, зеленуваті, червонуваті), а основні й ультраосновні породи, які складаються майже на цілковитому складі з кольорових мінералів, мають більш темне забарвлення (темно–зелене, бурувато–зелене, чорне).

Питома вага магматичних порід поступово зростає від кислих до ультраосновних. Питома вага кислих порід коливається в межах 2,5–2,7 (граніт), середніх 2,7–2,8 (діорит), основних 2,9–3,17 (габро), ультраосновних 3,1–3,5 (перидотит).

Умовно кислі та середні породи за питомою вагою відносяться до легких, а основні та ультраосновні – до важких.

Для визначення умов утворення магматичних порід головне значення має структура.

Для глибинних (інтрузивних) порід звичайною є повно кристалічнолічно зерниста (зерниста) структура, зумовлена повільним застиганням магми під великим тиском та в присутності в ній парів і газів. За дуже повільного застигання магми утворюються грубозернисті структури, а за швидшого – середньо– і дрібнозернисті. Крім швидкості кристалізації, на структуру

впливають також кристалізаційна здатність різних мінералів і послідовність їх випадання з магми.

Виливні (ефузивні) породи, що утворилися в умовах швидкого охолодження і за невеликого тиску, характеризуються скловатими, щільними і дуже дрібнозернистими та порфіровими структурами.

Текстура більшості магматичних порід масивна, (однорідна), рідше пориста. Пориста виникає у верхній частині лави, що вилилася, коли в процесі її охолодження виділяється значна кількість газів. Вибухи, що супроводжують вулканічні виверження, призводять до утворення уламкового матеріалу, який потім ущільнюється і цементується, в результаті утворюються вулканічні породи з уламково–пористою структурою – вулканічні туфи.

Кожній глибинній магматичній породі відповідають два аналоги, що вилилися:

–кайнотипні породи. Вони містять водяно–прозорі або восково–жовті польово–шпатові вкрапленники, мають шорсткий на дотик злам і однорідне (без плям, патьоків, іржі) забарвлення основної маси.

–полеотипні породи. Характеризуються значною зруйнованістю. Вони мають щільну основну масу, часто нерівномірно забарвлену.

Най звичайнішими структурами є уламкові (уламкові, органогенні породи) і кристалічно–зернисті (хімічні, органогенні породи).

Серед порід уламкового походження за величиною уламків виділяють такі основні групи:

- грубоуламкові з частками понад 2 мм у діаметрі;
- середньоуламкові, піщані з частками понад від 2 до 1 мм;
- дрібноуламкові, пилуваті з частками від 0,1 до 0,01 мм;
- глинисті з частками менше ніж 0,001 мм

За формою уламків розрізняють породи: нормально – осадові, в яких уламки можуть бути незграбними (некатаними), округло – незграбними (напівокатаними) і округло – полірованими (окатаними).

Осадові породи мають шаруватість, що зумовлено особливостями їхнього утворення; вони утворюються осадженням у морських або прісних водоймах або на поверхні суші. Матеріал, що накопичується в процесі налагодження, непостійний за мінеральним складом і за величиною зерен. Тому виникають окремі шари, що відрізняються один від одного забарвленням, величиною зерен, складом організмів.

Пористість – одна з найважливіших ознак осадових порід. Залежить від кількості та щільності цементу, величини та складу зерен, що складають породи (для пісків і пісковиків)

Від пористості залежить об'ємна вага породи.

Осадові породи утворювалися при руйнуванні на поверхні Землі під впливом вітру, коливання температури, вологи, тобто шляхом вивітрювання головним чином магматичних порід. За фізичного вивітрювання (без хімічного розкладання) утворюються уламкові породи, за хімічного (з розкладанням колишніх мінералів та утворенням нових), а також шляхом кристалізації з істинних і колоїдних розчинів у морях та озерах – хімічно осадові породи. При

відмиранні різних організмів, що мають твердий вапняковий або кременистий скелет чи мушлю, і накопиченні продуктів їхнього руйнування утворюються органогенні породи табл. 10.3.

Осадові породи залягають у земній корі шарами і залежно від умов утворення відрізняються різною структурою.

Уламкові породи характеризуються уламковим складанням з різною крупністю уламків вихідних порід – від грубоуламкових (трави, галька) до тонкоуламкових (глина). Уламки можуть бути кутасті або окатані, а порода – пухкою (пісок) або зцементованою (піщаник).

Метаморфічні (видозмінені) породи утворюються на контакті магми, що впроваджується, під впливом високих температур і гарячих газів і розчинів, що виділяються з магми /контактовий метаморфізм і метасоматоз/, а також під впливом температур і високих тисків, що панують у глибинах земної кори – регіональний метаморфізм.

У всіх випадках відбувається перекристалізація вихідних порід, перетворення пісковиків на кварцити, вапняків на мармури, а інколи й розсланцювання (утворення глинистих та інших сланців), породи в такий спосіб набувають зернистої або сланцевої будови (табл. 10.4)

Методика проведення роботи та оформлення звіту.

Розділіть гірські породи, що вивчаються, на глибинні та виливні за їхньою структурою.

Добре виражену кристалічну структуру мають глибинні гірські породи, породи, що вилилися, володіють скловатою, іноді мікрокристалічною структурою, порфіровою або афіровою. Розділіть гірські породи за рівнем кислотності.

Щоб віднести породу до певного типу, слід звернути увагу до її мінеральний склад. У зв'язку з великим вмістом оксидів заліза та магнію основні та ультраосновні породи містять велику кількість темнокольорових мінералів і мають темне забарвлення. Практична відсутність польових шпатів свідчить про ультраосновний склад порід. Світлозабарвлені породи – це переважно породи кислого чи середнього складу. Вони зазвичай чітко видно зерна кварцу.

Визначте кожну гірську породу виділених підгрупах, використовуючи таблицю діагностичних ознак магматичних порід. Опишіть гірську породу відповідно до табл. 10.3.

Таблиця 10.3 – Опис складу та властивостей магматичних гірських порід

Найменування породи	Забарвлення	Породоутворюючі мінерали та їх кількість (мас. %)		Структура
		основні	другорядні	
Текстура	Група кислотності	Походження	Можлива форма залягання	Використання

Таблиця 10.2 – Характеристика найголовніших гірських порід (магматичні)

Назва породи	Положення в класифікації			Колір	Характерні особливості	Мінералогічний склад	Текстура і структура	Які рудні мінерали містить
	Клас	Група	Підгрупа					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Граніт	Магматичні	Кислі (SiO_2>62%)	Глибинні	Світло–сірий, рожевий, червоний	–	Кварц, ортоклаз, біотит	Масивна, зерниста	Золото, каситерит
Пегматит				Сірий, рожевий, блакитний	Евтектичний характер структури	Кварц, ортоклаз, мусковіт	Масивна пегматитова, Грубозерниста	Рідкоземельні тантал–ніобієві, вольфраміт, молібденіт, берил
Лапарит			Ті, що вилилися	Сірий, рожевий, блакитний	Містить скло	Кварц, ортоклаз, біотит	Масивна скловата порфірова масивна	–
Кварцовий порфір				Те саме	Помітно вивітрена	Те саме	Те саме	–
Обсидіан				Сірий, білий, бурий, чорний	Щільна аморфна маса	Ні	Масивна скловата	–

Продовження таблиці 10.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Туф	Магматичні	Середні SiO_2 – 65%–52%	Вулканічні	Сірий, білий, бурий	Досить пористий із включеннями	– "–	Пориста, скловата	–
Пемза				Те саме	Досить пористий без включень	– "–	Те саме	–
Діорит			Глибинні	Сірий	Відсутній кварц і скло	Середній плагіоклаз, рогова обманка	Масивна зерниста	–
Андезит			Ті, що вилилися	Сірий, зеленувато сірий	Порфірова структура	Те саме	Масивна порфірова	–
Порфірит				Сірий, зелений, бурий	Помітно вивітрена з порфіровою структурою	– "–	Масивна Іноді пориста порфірова Іноді пориста порфірова	–
Туф			Вулканічні	Темно–сірий, бурий	Досить пориста з включеннями маса	Немає або окремі включення тих самих мінералів	Пориста, уламкова, скловата	–

Кінець таблиці 10.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Габро	Магматичні	Середні SiO_2 – 52% – 40%	Глибинні	Темно–сірий, чорний	Темний колір, крупнокристалічна будова	Основний плагіоклаз, піроксени, олівін	Масивна, грубозерниста	Ільменіт, титаномагнетит
Лабрадорит				Темно–сірий, чорний із синьо–зеленими кольорами іризації	На темному тлі крупнокристалічної породи синьо–зелені плями	Майже мономінеральна, основний плагіоклаз, мало олівіну і піроксену	Масивна, крупно–кристалічна	Те саме
Базальт				Чорний, темно–сірий	Темний колір, пористість, дрібнозернистість	Основний плагіоклаз, піроксени, олівіни	Пориста дрібно–зерниста, іноді мигдалекам'яна	–
Діабаз		Основні SiO_2 –52% – 40%	Ті, що вилилися	Чорний	Чорний колір, дрібнозерниста будова	Основний плагіоклаз, піроксени, олівін	Масивна, дрібнозерниста	–
Дуніт		Ультраосновні (SiO_2 < 40%	Глибинні	Чорний, темно–зелений	Чорний колір, масивна структура	Олівін і рудні	Те саме	Хроміт, платина
Піроксенит				Те саме	Чорний, масивна структура	Піроксени (авгіт та ін.) і рудні	– "–	Те саме

Таблиця 10.3 – Характеристика найголовніших осадових порід

Назва гірської породи	Клас	Група	Твердість	Колір	Взаємодія з HCl	Мінералогічний і хімічний склад	Текстура і структура	Характерні особливості
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кам'яна сіль (галіт)	Осадові	Хімічні	3	Безбарвний, білий, іноді забарвлений у різні кольори	Не взаємодіє	Мономінеральна Галіт NaCl	Масивна зерниста	Солона на смак
Вапняк			3	Білий, сірий, червоний тощо.	Бурхливо закипає на холоду	Кальцит $CaCO_3$	Щільна, пориста, оолітова	Закипає в HCl
Мергель			Близько 2	Білий, сірий	Те саме	Кальцит $CaCO_3$ Каолініт	Землиста, щільна	Суміш глинистого і вапняковистого матеріалу
Гіпс			2	Білий, сірий, рожевий тощо	Не взаємодіє	Гіпс $Ca_2SO_4*2H_2O$	Зерниста, щільна	Дряпається нігтем
Вапнякчерепашник		Органогенні вапнякові	3	Те саме	Бурхливо закипає на холоду	Кальцит $CaCO_3$	Пориста з уламків мушель	Зросток дрібних і великих мушель
Крейда			Близько 2	Білий	Те саме	Те саме	Землиста	Білий колір, землиста будова, скипає в HCl

Продовження таблиці 10.3

1	2	3		4	5	6	7	8	9
Трепел	Осадові	Органогенні	Крем'янисті	Близько 6	Різний	– "–	Аморфний кремнезем $SiO_2 * nH_2O$	Те саме	Землиста будова, сірий колір, дряпає скло
Яшма				6	Бурий	– "–	Суміш аморфного і кристалічного SiO_2	Дуже щільна	Висока твердість, раковистий злам
Торф			Горючі	1	Білий, чорний	– "–	Складна органічна сполука	Пориста, рідше щільна	Сплетіння розкладених рослинних залишків
Буре вугілля				Близько 2	Чорний	– "–	Те саме	Щільна	Щільна, легка, горюча маса, матова
Кам'яне вугілля				3–4	Різний	Залежить від складу	– "–	Дуже щільна	Легка, щільна, горюча маса
Галечник		Уламкові	Пухкі	Залежить від складу	– "–	– "–	Уламки порід різного складу	Грубоуламкова окатана	Обкатані уламки розміром 4–20 см
Щебінь					Різний	– "–	– "–	– "–	Незграбні окремі уламки розміром 4–20 см

Продовження таблиці 10.3

1	2	3		4	5	6	7	8	9
Гравій	Осадові	Уламкові	Пухкі	Те саме	– "–	Те саме	Те саме	Грубоуламкова окатана	Окатані уламки розмірів від 2 до 40 мм
Пісок				Близько 7	Частіше жовтий	Не взаємодіє	Кварц (зазвичай), польовий шпат і слюда (рідше)	Середньо–уламкова	Зазвичай переважають округлі зерна кварцу розміром 2–0,05 мм.
Лес				–”–	– "–	Те саме	Те саме	Дрібноуламкова, ущільнена, пориста	Жовтий колір, вертикальні пори, розміри частинок 0,05...0,005 мм
Глина				1	Білий, жовтий, червоно–бурий	– "–	Каолініт, гідроокисли заліза	Тонкоуламкова ущільнена зерниста, ущільнена	Жирна на дотик, розміри <0,005 мм
Конгломерат			Сцементовані	Залежить від складу	Різний	Залежить від складу уламків і цементиту	Уламки порід і цемент різного складу	Грубоуламкова, окатана, зцементована	Сцемнт. гальки вапняним, глинистим та ін. цементом
Брекчія					– "–	Те саме	Те саме	Грубоуламкова окатана	Окатані уламки розмірів від 2 до 40 мм

Продовження таблиці 10.3

1	2	3		4	5	6	7	8	9
Гравеліт	Осадові	Уламкові	Сцементовані	Залежить від складу	Різні	Залежить від складу уламків і цементів	Уламки порід і цемент різного складу	Грубоуламкова окатана, зцементована	Обкатані уламки порід, зцементовані цементом вапняним, кременистим
Пісковик				Близько 7	Жовтий, білий, сірий	Залежить від складу цементу	Кварц, рідше польовий шпат, слюда тощо.	Середньо–уламкова, зцементована	Пісок зцементований вапняним, кременистим та іншим цементом

Таблиця 10.4 – Характеристика найголовніших метаморфічних порід

Назва породи	Положення у класифікації			Колір	Початкова природа	Мінералогічний склад	Текстура і структура	Які рудні мінерали містить
	Клас	Група	Підгрупа					
1	2	3	4	5	6	7	1	2
Кварцит	Метаморфічні	Контактові	Термальні	Білий, сірий, рожевий	Піщана	Кварц SiO_2	Масивна, зерниста	–
Роговик				Темно–синій, чорний	Глиниста	Кварц, слюда, рогова обманка, піроксен	Те саме	–
Мармур				Білий, сірий та ін.	Вапнякова	Кальцит	Те саме	–

Продовження таблиці 10.4

1	2	3	4	5	6	7	1	2
Скарі	Метаморфічні	Контактові	Метасоматичні	Зелені, бурий, сірий тощо.	– "–	Гранати, піроксени, рудні мінерали	– "–	Магнетит, халькоперит рідкісні
Серпентиніт (змійовик)				Зелений	Дуніти, піроксеніти	Серпентин $Mq_6[Si_4O_{10}](OH)_2$	Масивна, смугаста	Хроміт, платина
Лиственит				Зелений із жовтими плямами	Основні та ультраосновні магматичні породи	Доломіт, кварц, фуксит	Масивна, зерниста	Кіновар
Грейзен				Світло–сірий, білий та ін.	Кислі магматичні, піщані та глинисті	Кварц, слюда (мусковіт)	Те саме	Каситерит, вольфраміт, молібденіт
Мармур дрібнозернистий		Регіональні	Епізона	Білий, сірий, рожевий тощо.	Вапняк	Кальцит $CaCO_3$	Масивна, зерниста	–
Кварциттоподібний пісковик					Піщана	Кварц SiO_2	Те саме	–
Глинисті сланці				Чорний, сірий	Глина	Каолініт, та ін.	Сланцевата	–
Слюдяні сланці			Мезо і ктозона	Сірий, чорний та ін.	Піщаноглинисті	Мусковіт, біотит, кварц	Сланцевата, луската	–

Продовження таблиці 10.4

1	2	3	4	5	6	7	1	2
Кварцит дрібно і середньозернистий	Метаморфічні	Регіональні	Мезо та ктозона	Білий, сірий, рожевий тощо.	Піщана	Кварц SiO_2	Масивна, зерниста	–
Мармур середньо– та грубозернистий				Те саме	Вапняк	Кальцит $CaCO_3$	Те саме	–
Гнейс				Сірий	Глина	Кварц, польовий шпат, слюда	Масивна, смугаста	–

ДОДАТОК
ЗОВНІШНІ ОЗНАКИ І ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛІВ

Таблиця 1 – Мінерали з металевим та напівметалевим блиском, непрозорі

Мінерал	Колір	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали білого та світло–сірого кольору з металевим блиском								
Молібденіт (молібденовий блиск) MoS_2	Свинцево–сірий з блакитним відливом	Сіра, часто з зеленуватим відтінком	1,0	Металевий	Дуже досконала; нерівний	Кристали гексагонально–таблітчаті, зазвичай листові або лускаті агрегати, іноді сфероліти	4,70–5,00	Жирний навпомацки, гнучкий, розкладається в киплячій концентрованій H_2SO_4
Антимоніт (стибніт, сурьмяний блиск) Sb_2S_3	Свинцево–сірий	Свинцево–сіра	2,0–2,5	Металевий	Досконала; нерівний	Призматичні кристали, часто радіально–і сплутано–променисті	4,50–4,60	Порошок під дією KOH забарвлюється в жовтий або оранжевий колір
Галеніт (блиск свинцовей) PbS	Свинцево–сірий	Сірувато–чорна	2,0–3,0	Металевий	Дуже досконала; східчастий	Кристали кубічні, зернисті маси	7,40–7,60	Легко розчиняється у HNO_3
Срібло самородне Ag	Сріблясто–білий	Металево блискучий	2,5	Металевий	Відсутня; гачкуватий	Кристали рідкі, дендрити, неправильні пластинки, мохоподібні, дротяні форми	10,1–11,1	Характерна ковкість, розчиняється в HNO_3, з HCl дає білий осад AgCl, на повітрі покривається чорною плівкою

Продовження табл. 1

Мінерал	Колір	Риска	Твердість	Блиск	лайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали жовтого кольору з металевим блиском								
Мідь самородна Cu	Мідно–червоний, часто з побіжністю	Металево блискуча	2,5–3,0	Металевий	Відсутня; гачкуватий	Пластинчасті дендрити, рідко суцільні маси	8,50–8,90	Ковкість, тягучість, легко розчиняється в розведеній HNO_3, важко – в HCl, утворюючи хлорид міді
Халькопірит (мідний колчедан) $CuFeS_2$	Латунно–жовтий з блакитною або строкатою побіглістю	Чорна із зеленим відтінком	3,0–4,0	Сильний металевий	Недосконаланерівний	Кристали рідкі – октаедричного вигляду, зернисті агрегати	4,10–4,30	У HNO_3 поступово розкладається із виділенням сірки
Пірротин (магнітний колчедан) $Fe_{(1-n)}S$	Темний бронзово–жовтий з бурою побіглістю	Сірувато–чорна	3,5–4,5	Металевий	Недосконала нерівний, раковистий	Кристали рідкі – таблитчасті, стовпчасті, зазвичай суцільні маси	4,58–4,70	Часто магнітний
Марказіт (лу–чистий колчедан) FeS_2	Латунно–жовтий із сіруватим або зеленуватим відтінком	Темна зеленувато–сіра	5,0–6,0	Металевий	Недосконала нерівний	Кристали таблитчасті, списоподібні, гребінчасті зростки, радіально–променеві, конкреції, натічні форми	4,60–4,90	У порошку легко розкладається в HNO_3, у розведеній HCl не розчиняється
Пірит (залізний колчедан, сірчаний кол–чедан) FeS_2	Латунно–жовтий, часто з побіглостя–ми різних кольорів	Бурувато– або зеленувато–чорна	6,0–6,5	Сильний металевий	Дуже недосконала; нерівний, іноді раковистий	Кристали кубічні, октаедричні, кристалічні агрегати, конкреції	4,90–5,20	Штрихування на гранях, порошок легко розкладається в HNO_3, виділяючи сірку

Продовження табл. 1

Мінерал	Колір	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	рма кристалів та агрега-тів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали чорного кольору з напівметалевим блиском								
Хроміт (хромистий залізняк) $FeCr_2O_4$	Чорний	Бура	5,5–6,0	Напів–металевий	Відсутня; нерівний	Кристали октаедричні, суцільні зернисті маси	4,00–4,80	У кислотах не розчиняється
Піролюзит (поліаніт) MnO_2	Чорний	Чорна	5,0–6,0 (кристали) 2,0 (агрегати)	Напів–металевий	Досконала; нерівний, землистий	Кристали рідкісні – голчасті, шісткуваті, зазвичай приховані кристалічні агрегати, порошкові, сажі маси	4,70–5,00	Бруднить руки, роз–чиняється в HCl, виділяючи хлор
Ільменіт (титанистий залізняк) $FeTiO_3$	Чорний, сталево–сірий	Чорна, іноді бура	5,0–6,0	Напів–металевий	Дуже не–досконалий–ня; нерівний	Кристали товсто–таблитчасті	4,72	Слабомагнітний
Магнетит (магнітний залізняк) $FeFe_2O_4$	Чорний	Чорна	5,5–6,0	Напів–металевий	Відсутня; раковитий	Кристали октаедричного вигляду, частіше суцільні зернисті маси	4,90–5,20	Сильно магнітний, реагує в порошку з HCl
Гематит (залізний блиск, червоний залізняк, кровавик) Fe_2O_3	Чорний, сталево–сі–рий, червонувато–чорний, вишневийчервоний	Вишнево–червона	6,0–6,5	Напів–металевий	Відсутня; нерівний, напівраковистий	Кристали пластинчаті, ромбоедричні, таблитчасті, щільні приховано-кристалічні маси, листуваті, лускаті агрегати	5,00–5,20	Немагнітний, дуже повільно розчинний в HCl

Примітка. Значення твердості 1,5, 2,5, 3,5 тощо означають, що даний мінерал має твердість вище 1 і нижче 2, вище 2 і нижче 3, вище 3 і нижче 4 тощо відповідно до твердості мінералів шкали Моосу.

Таблиця 2 – Мінерали з неметалевим блиском

Мінерал	Колір	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Пірофіліт $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$	Білий з жовтуватим відтінком, блідо–зелений; напів–прозорий	Біла	1,0	Скляний з перламутровим відливом	Досконала; нерівний	Пластинчасто–променисті агрегати, сховано–шуйчасті щільні маси	2,66–2,90	У кислотах не розкладається
Тальк (стеатит, жировик) $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	Безбарвний, білий, зеленуватий; непрозорий	Біла	1,0	Скляний	Дуже досконала; нерівний	Кристали рідкісні – таблитчасті, зазвичай листові, лускаті щільні маси	2,70–2,80	Жирний на дотик, листочки гнучкі, не пружні, у кислотах не розчиняється
Сода (натрит) $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Безбарвний, білий, сірий; прозорий	Біла	1,0– 1,5	Скляний	Досконала;землістий	Кристали табличчасті, зернисті агрегати	1,42–1,47	Легко розчиняється у воді, забарвлює полум'я у жовтий колір
Каолініт $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	Білий з жовтим, червонуватим, сіруватим, буруватим відтінком; непрозорий	Біла	1,0–1,5	Матовий	Дуждедосконала; землістий	Кристали стовпчасті, червоподібні, пухкі, лускачаті або щільні тонкозернисті агрегати, землісті маси	2,58–2,60	Легко розкладається у нагрітій H_2SO_4, енергійно поглинає воду, стаючи пластичним, легко розтирається руками, жирний на дотик

Продовження таблиці 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Іллі́т (гідромусковіт) $K_{<1}Al_2[(Si, Al)_4O_{10}] (OH)_2 \cdot nH_2O$	Білий; непрозорий	Біла	1,0–1,5	Скляний	Досконала	Тонко пластинчаті та лускаті маси	2,64–2,69	Жирний на дотик
Бішофіт $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Безбарвний, білий; непрозорий	Біла	1,0–2,0	Скляний–ний, тьмяний	Дуже недосконала; нерівний, зернистий	Кристали волокнисті, зернисті маси	1,59–1,65	Сильно гігроскопічний, гіркий на смак, легко стирається
Монтморилоніт $m\{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\}\times\times\square p\square\square\square\square l,Fe^{3+})_2[Si_4O_{10}][OH]_2\}\cdot nH_2O$	Білий, сірий, бурий; непрозорий	Від світлої солом'яно–жовтої до зеленувато–жовтої	1,0–2,0	Матовий	Досконала; землистий	Щільні, землисті, пластинчасті маси	2,00	Сильно набухає від вологи, жирний на дотик
Галлуазит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \square\square\square\square\square$	Білий, сірий, блакитний; непрозорий	Біла	1,0–2,5	Матовий	Відсутня; раковитий	Пухкі тонко–зернисті маси	2,00–2,20	У воді розпадається на шматочки, не розбухаючи, частково розкладається в кислотах
Гіпс (алебастр, легкий шпат) $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$	Безбарвний за рахунок домішок сірий, жовтий, бурий; прозорий, непрозорий	Біла	1,5	Скляний	Дуже досконала; східчастий	Кристали табличчасті, рідко стовпчасті, призматичні, зазвичай щільні тонкокристалічні агрегати	2,32	Повільно розчиняється у воді та HCl

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Вівіаніт $Fe_3[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$	Безбарвний, під час окиснення блакитний, індигово–синій, чорно–синій; прозорий	Біла	1,5–2,0	Скляний,на площині спайності перламут–ровий	Дуже досконала; східчастий	Кристали призматичні, часто кулясті агрегати, землисті маси	2,95	Крихкий, легко розчиняється в HCl та HNO_3
Мірабіліт (глауберова сіль) $Na_2[SO_4]\cdot 10H_2O$	Безбарвний, іноді білий з жовтуватим, блакитним відтінком; прозорий	Біла	1,5–2,0	Скляний	Досконалий; раковистий	Кристали короткостовбчасті, зазвичай зернисті агрегати, кірки, нальоти	1,48	На повітрі поступово зневоднюється, перетворюючись на порошок, гірко–солоний на смак
Сільвін KCl	Безбарвний, за рахунок включень буро–красний, синій; прозорий	Біла	1,5–2,0	Скляний	Досконала; нерівний	Кристали кубічні, суцільні зернисті маси	1,97–1,99	Гірко–солоний на смак, гігроскопічний
Селітра калієва (нітрокаліт) KNO_3 Селітра натрієва (нітронатрит) $NaNO_3$	Безбарвний, білий, сірий, червонувато–бурий, лимонно–жовтий; прозорий, напівпрозорий	Біла	1,5–2,0	Скляний	Досконала; зернистий	Кристали ромбоподібні, зазвичай суцільні зернисті маси у вигляді кірок і квітів	1,99 (KNO_3) 2,24–2,29 ($NaNO_3$)	Смак злегка солонуватий, розчиняється у воді, легко плавиться, натрієва селітра забарвлює полум'я у жовтий колір, калієва – у фіолетовий

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Гідробароцит $CaMg[B_3O_4(OH)_3]$□ □□□□□□	Безбарвний; прозорий	Біла	2,0	Скляний	Досконалий занозистий	Кристали воло–книсті, голчасті, радіально–променисті агрегати	2,17	Крихкий, розчиняється в кислотах при слабкому підігріванні.
Галіт (кам'яна сіль) NaCl	Безбарвний, сірувато–білий, а також сірий, жовтий за рахунок домішок; прозорий	Біла	2,0	Скляний–ний, на поверх–нях які вивітрилижирний	Дуже досконала; ступінчас–тий	Кристали кубічні, зернисті та суцільні маси	2,10–2,20	Легко розчиняється у воді, має солоний смак
Епсоміт (гірка сіль) $Mg[SO_4] \cdot 7H_2O$	Білий, іноді безбарвний; прозорий	Біла	2,0–2,5	Скляний	Дуже досконала; зернистий	Кристали призматичні, голчасті, щільні натечні та землісті агрегати	1,68	Легко розчиняється у воді, тендітний, гіркий на смак
Гідраргіліт (гіббсит) $Al(OH)_3$	Білий, іноді сіруватий; прозорий	Біла	2,0–3,0	Скляний до перламутрового	Дуже досконала; нерівний	Кристали табличчасті, зазвичай тонкочешуйчасті або скритокристалічні ські маси	2,43	Не реагує з кислотами, розчиняється у гарячих лугах
Кріоліт (крижаний камінь) $Na_3[AlF_6]$	Безбарвний, сірувато–білий, жовтуватий; прозорий	Біла	2,0–3,0	Скляний	Відсутня; нерівний	Кристали кубоподібні, суцільні крупнозерністі маси	2,95–3,01	Повністю розчиняється в HCl, H2SO4

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Бура (тинкал) $Na_2[B_4O_5(OH)_4]\cdot 8H_2O$	Безбарвний, білий з сіруватим, блакитним або зеленуватим відтінком; прозорий, що просвічує	Біла	2,0–2,5	Скляний	Недоскоала; раковистий	Кристали призматичні, землісті маси	1,69–1,72	Легко розчиняється у воді, смак солодкуватий
Карналіт $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$	Безбарвний, залежно від домішок рожевий до червоно–коричневого; прозорий	Біла	2,0–3,0	На свіжому зламі скляний, на повітрі тьмяний, жирний	Відсутня; раковитий	Щільні зернисті агрегати	1,60	Гіркий на смак розчиняється у воді, легко плавиться, гігроскопічний
Мусковіт (біла калієва слюда) $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	Безбарвний з жовтуватим, зеленуватим відтінком; прозорий	Біла	2,0–3,0	Скляний, на площинах спайності перламут–равий	Дуже досконала; нерівний, ступінчас–тий	Кристали пластинчасті, листувато–зернисті і лускачаті агрегати	2,76–3,10	Легко розщеплюється на тонкі пластинки, у кислотах не розкладається
Тенардіт $Na_2[SO_4]$	Безбарвний з червонуватим або жовтатим відтінком; прозорий	Біла	2,0–3,0	Скляний	Досконала; землистий	Кристали дипірамідального вигляду, друзи та зернисті агрегати	2,66	Розчиняється у воді, забарвлює полум'я у жовтий колір, тендітний

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Хризотил–азбест $Mg_6[Si_4O10](OH)_8$	Білий, світло–зелений; прозорий	Біла	2,0–3,0	Шовковистий	Недосконалий, нерівний, занозистий	Волокнисті агрегати	2,51	Розчиняється в HCl, залишаючи волокнистий скелет кремнезему
Брусит $Mg(OH)_2$	Білий, рідко зелений або безбарвний; непрозорий	Біла	2,5	Скляний	Відсутня; нерівний	Кристали товстостовпчасті, листові лускучаті агрегати	2,30–2,40	У кислотах легко розчиняється без закипання
Кальцит (шпат вапняний) $CaCO_3$	Білий, за рахунок домішок відтінку сірого, жовтого, рожевого, бурого кольору; непрозорий	Біла	3,0	Скляний	Досконала;нерівний, ступінчас–тий	Кристали скаленоедричні, таблитчасті, пластинчасті, щільні скритокристалічні маси (вапняки)	2,60–2,80	Бурхливо реагує з 10% HCl, виділяючи CO_2, ісландський шпат прозорий
Трона $3Na_2O \cdot 4CO_2 \cdot 5H_2O$	Білий, сірий, жовтий; прозорий	Жовто–то–бурий	3,0	Скляний, тьмяний	Дуже досконала; раковитий	Волокнисті шістуваті агрегати, кірки, шаруваті утворення	2,13	Розчиняється у воді, бурхливо реагує з HCl
Баріт (важкий шпат) $Ba[SO_4]$	Безбарвний, білий, сірий, жовтий, блакитний; прозорий	Біла	3,0–3,5	Скляний, на площині спайності перламутровий	Досконала;нерівний, зернистий	Кристали таблитчасті, рідше призматичні, зернисті агрегати, землісті маси	4,30–4,60	Не розчиняється в HCl, чим відрізняється від карбонатів

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Ангідрит $Ca[SO_4]$	Білий з блакитним, сіруватим відтінком; напівпрозорий	Біла	3,0–3,5	Скляний, зернистий на площині спайності перламутровий	Досконала;зернистий	Кристали таблитчасті, зазвичай суцільні зернисті маси	2,08–3,00	При дії водою перетворюється на гіпс, збільшуючись в обсязі, в HCl слаборозчинний
Беміт AlOOH	Безбарвний, білий з жовтуватим відтінком; прозорий-ний, напівпрозорий	Біла	3,5	Скляний	Досконала;нерівний	Кристали дрібні пластинчасті, чечевицеподібні, зазвичай приховані кристалічні маси	3,01–3,06	Легко реагує з лугами, не реагує з кислотами
Алуніт (квасцовий камінь) $KAl_3[SO_4]_2(OH)_6$	Білий з сіруватим, жовтуватим або червонуватим відтінком; прозорий	Біла	3,5–4,0	Скляний, на площинах спайності перламутровий	Вчинено–ня; раковистий	Дрібні кристали; щільні, зернисті, пухкі та землисті агрегати	2,60–2,80	У HCl не розкладається, в концентрованій H_2SO_4 розчиняється важко
Доломіт (вапняк гіркий) $CaMg(CO_3)_2$	Сірувато–білий, іноді з жовтуватим, буруватим відтінком; непрозорий	Біла, сера	3,5–4,0	Скляний	Досконала; раковистий	Кристали ромбоедричні, зазвичай кристалічно–зернисті агрегати	1,80–2,90	Реагує з HCl у порошку

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Сидерит (шпат залізний) $FeCO_3$	Білий, жовтувато–, сірувато–білий, іноді з буровато–тим відтінком; непрозорий	Біла	3,5–4,5	Скляний	Досконала;нерівний	Кристали пластинчасті, кристалічно–зернисті агрегати, конкреції	3,90	Енергійно взаємодіє з нагрітою HCl, залишаючи зеленувато–жовту пляму
Магнезит (шпат магезіальний) $MgCO_3$	Білий, сірий, жовтий; прозорий	Біла, сіра	4,0–4,5	Скляний	Досконала;нерівний	Кристали ромбоедричні, частіше крупнозернисті агрегати	2,90–3,10	Характерна ромбоедрична спайність, розчиняється в гарячих кислотах
Флюорит (шпат плавиковий) CaF_2	Безбарвний, жовтий, зелений, блакитний, фіолетовий, рідко безбарвний; прозорий	Біла	4,0	Скляний, перламутро–вий	Досконала; раковистий	Кристали кубічні, октаедричні, зернисті маси	3,18	Розкладаєтьсяв концентрованій H_2SO_4, виділяючи HF
Волластоніт (шпат дощатий) $Ca_3[Si_3O_9]$	Бурий, сірий, іноді біс–кольоровий, рідше жовтуватий, зелений; непрозорий	Біла	4,5–5,0	Скляний	Досконала;нерівний	Кристали таблитчасті, шісткуваті, радіально–променисті, листові агрегати	2,78–2,91	Розкладається в HCl з виділенням кремнезему

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Опал (гіаліт, кохолонг, молочний опал, вогненний опал) $SiO_2 \cdot nH_2O$	Білий, що містить домішки – бурий, жовтий, червоний, зелений; напів–прозорий	Біла	5,0–5,5	Скляний, матовий у пористих мас	Відсутня; раковитий	Щільні склоподібні маси натічної форми	1,90–2,50	Легко розчиняється в HF та KOH
Періклаз MgO	Безбарвний; прозорий	Біла	5,0–6,0	Скляний	Досконала; рівний	Кристали, зернисті маси	3,56–3,68	З кислотами реагує насилу
Натроліт (натровий камінь, гнилий камінь) $Na_2[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$	Безбарвний, білий з жовтуватим, зеленуватим, червонуватим відтінком; непрозорий	Біла	5,0–5,5	Скляний, у волокнистих різниць шовковистий	Середня; занозистий	Кристали стовпчасті, призматичні, радіально–променисті агрегати, волокнисті маси	2,20–2,50	Розчиняється в HCl з виділенням драглистого кремнезему
Нефелін $Na[AlSiO_4]$	Сірий, брудно–зелений, м'ясо–червоний, бурий; непрозорий	Біла	5,0–6,0	Скляний, у зламі жирний	Практично відсутня, нерівна	Кристали призматичні, коротко-столбчаті, крупнозернисті маси	2,56–2,66	Розкладається кислотами
Тремоліт $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$	Білий, сірувато–білий; не–прозорий	Біла	5,5–6,0	Скляний	Досконала;нерівний	Кристали довгопризматичні, голчасті, променисті або волокнисті агрегати	2,90–3,00	У кислотах не розкладається, реагує лише з HF

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Цельзіан $Ba[Al_2Si_2O_8]$	Безбарвний; прозорий	Біла	6,0–6,5	Скляний	Досконала; нерівний, ступінчатий	Кристали коротко-призматич–ні	3,31–3,37	Розчиняється в HCl з утворенням гелю
Мікроклін, ортоклаз Адуляр $K[AlSi_3O_8]$	Білий, світло–рожевий, сірий, буро–жовтий, м'ясо–червоний; непрозорий	Біла	6,0–6,5	Скляний	Досконала; ступінчастий	Кристали призматичні	2,54–2,57	Полісинтетичні двійники, реагує з HF і KOH, адуляр прозорий
Плагіоклази (ряд альбіт – анортит) $Na[AlSi_3O_8]$ – $Ca[Al_2Si_2O_8]$	Білий, сірувато–білий, іноді із зеленуватим відтінком; непрозорий	Біла	6,0–6,5	Скляний, перламутро–вий	Досконала; нерівний, ступінчастий	Кристали таблитчасті, таблітчасто–призматичні	2,61 (альбіт) – 2,76 (анортит)	Реагує тільки з HF, плавиться важко в скло, забарвлюючи полум'я у жовтий колір
Діаспор $HAlO_2$ (AlOOH)	Сірий, білий, жовтий, коричневий; напівпрозорий	Біла	6,0–7,0	Скляний	Досконала; нерівний	Кристали тонкопластинчасті, зазвичай листуваті або тонко–лускаті агрегати	3,30–3,50	Дуже крихкий, у кислотах та KOH не розчиняється
Бадделєїт ZrO_2	Коричневий, жовтувато–бурий; прозорий–ний, непрозорий	Безбарв–на або темно–коричне–ва	6,5	Скляний, жирний	Досконала; нерівний	Пластинчасті та таблитчасті кристали	5,70	Розкладаєтьсяв концентрованій H_2SO_4

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Сподумен $LiAl[Si_2O_6]$	Світло–сірий, білий, жовтуватий, зеленувато–жовтий; непрозорий	Біла	6,5–7,0	Скляний	Досконала;нерівний	Кристали призматичні, пластинчасто–шістуваті агрегати	3,13–3,23	У HCl не розчиняється
Борацит $Mg_3[B_7O_{13}]Cl$	Білий із сіруватим, жовтуватим або зеленуватим відтінком; прозорий	Біла	7,0	Скляний	Відсутня; раковитий	Кристали кубічні або октаедричні	2,91–2,97	Крихкий, повільно розчиняється в HCl
Кварц Халцедон (приховано–кристалічний) SiO_2	Безбарвний, молочно–білий, сірий, жовтий, блакитний, коричневий, чорний; прозорий	Біла	7,0	Скляний	Відсутня; раковитий	Кристали призматичні, друзі, зернисті, суцільні, скритокристал–особисті маси	2,50–2,80	З кислотами не реагує, за винятком HF, з якою утворює летюче з'єднання – SiF4, штрихів на гранях кристалів
Силіманіт $Al[AlSiO_5]$	Білий, сірий, блідо–зелений; прозорий, напівпро–непоказний	Біла	7,0	Скляний	Досконала; нерівний, занозистий	Кристали голчасті, волокнисті, променисті агрегати	3,23–3,25	У кислотах не розчиняється

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали безбарвні, білого та світло–сірого кольору з різними відтінками								
Андалузит $Al_2[SiO_4]O$	Сірий, рожевий, жовтий, коричневий; прозорий, непрозорий	Біла	7,0–7,5	Скляний	Досконала; нерівний, занозистий	Кристали призматичні	3,10–3,20	У кислотах не розкладається
Данбуріт $CaB_2[SiO_4]_2$	Безбарвний, жовтий; непрозорий	Біла	7,0–7,5	Скляний, жирний	Недосконала; нерівний, раковистий	Кристали стовпчасті	2,95–3,02	Не розчиняється у HCl
Беріл $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$	Безбарвний, залежно від домішок жовтий, блакитно–зелений; прозорий	Біла	7,5–8,0	Скляний	Недосконалі; нерівний, раковистий	Кристали призматичні, стовпчасті	2,63–2,91	У кислотах не розчиняється
Топаз $Al_2[SiO_4](F, OH)_2$	Безбарвний, світлий жовтуватий, голубуватий, зеленуватий; прозорий	Біла	8,0	Скляний	Досконала; нерівний, раковистий	Кристали призматичні, зростки, променисті пластинчаті агрегати	3,52–3,57	Не піддається дії кислот
Мінерали жовтого та оранжевого кольору з різними відтінками								
Сірка S	Різні відтінки жовтого кольору; напів–прозорий	Біла	1,0–2,0	Алмазний на гранях, на зломі жирний	Недосконала; нерівний, раковистий	Кристали пірамідальні, суцільні, іноді землисті маси	2,05–2,08	Тендітна, легко плавиться від сірника, загоряючись блакитним полум'ям з виділенням SO_2

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали жовтого та оранжевого кольору з різними відтінками								
Аурипігмент (жовта миш'яковиста обманка) As_2S_3	Лимонно– і золотисто–жовтий до оранжево–жовтого; непрозора	Лимонно–жовта яскрава	1,0–2,0	Від алмазного до напів металевого	Дуже досконала; нерівний	Кристали призматичні, радіально–променисті агрегати	3,40–3,50	Розчиняється в KOH, HNO_3, H_2SO_4
Реальгар AsS	Оранжево–жовтий, яскраво–червоний; прозорий	Світло–оранжева	1,5–2,0	Алмазний, на зламі смоляний	Вчинено–ня; занозистий, дрібно–раковистий	Кристали призматичні, зернисті агрегати, землисті маси	3,40–3,60	Розчиняється в нагрітій KOH і в царській горілці, виділяючи сірку
Астрофіліт $(K, Na)_2(Fe^{2+}, Mn)_4 Ti[Si_4O_{14}](OH, F)_2$	Золотисто–жовтий, золотисто–бурий; напівпрозорий	Буро–жовта	3,0–3,5	Скляний, на площинах спайності перламутровий	Досконала, занозиста	Кристали пластинчасті, голчасті, іноді зіркові та агрегати	3,28–3,30	Розкладаєтьсяв HCl та H_2SO_4
Лимоніт, бурий залізняк (суміш гетиту, гідрогетиту, гідрогематиту та ін.) $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	Охряно–жовтий, темно–бурий; непрозорий	Іржаво–бура	2,6–5,0 (гетит)	Матовий	Відсутня; нерівний	Землисті маси, дрібнозернисті, потай–кристалічні агрегати	3,80–4,20 (гетит)	Повільно розчиняється в HCl
Мінерали червоного та рожевого кольору з різними відтінками								
Рутил TiO_2	Червоно– і темно–бурий, темно–жовтий; непрозорий	Жовта, світло–бура	6,0–6,5	Алмазний, металовидний	Досконала; раковистий	Кристали призматичні, стовпчасті, голчасті	4,20–4,30	Не реагує з кислотами, характерні колін–чаті двійники

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали червоного та рожевого кольору з різними відтінками								
Кіновар HgS	Яскраво–до темно–червоного; непрозорий	Червона	2,0–2,5	Напів–металевий	Досконала; занозистий	Кристали дрібні товсто– стовпчасті або ромбоедричні, зернисті і прихований кристал–особисті маси	8,00–8,20	Тендітний, розчиняється тільки в царській горілці
Полігаліт $K_2MgCa_2[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$	Червоний різних відтінків, рідко безбарвний, білий, сірий; прозорий	Біла	2,5–3,0	Скляний	Досконала; нерівний	Кристали рідкісні – таблитчасті, зазвичай щільні волокнисті, шостий. ваті агрегати	2,72–2,78	Крихкий, гіркий на смак, розчинний у воді
Родоніт (орлець) (Mn, Ca)$_3$[Si$_3$O$_9$]	Рожевий, червоний, рожево–сірий; непрозорий	Біла	5,0–5,5	Скляний	Вчинено–ня; ступінчастий	Суцільні щільні або зернисті маси	3,40–3,75	Повільно розкладається в HCl з утворенням білого порошку кремнезему
Гранати: піроп $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$, альмандин $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$, андрадит $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$, уваровить $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$	Колір темно–червоний, червоний, буро–червоний, зелений; всі напівпрозорі	Біла	6,5–7,5	Скляний–ний, жирний	Відсутня; нерівний	Ізометричні зерна, кристали	3,50–4,20	У HCl лише андрадит важко розчиняється виділяючи драглистий кремнезем

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали червоного та рожевого кольору з різними відтінками								
Циркон $Zr[SiO_4]$	Червоно–коричневий, жовтий, оранжевий, безбарвний; прозорий	Буровата до білої	7,0–8,0	Алмазний	Недосконала; нерівний або раковий	Кристали короткокостов–бчасті	4,68–4,70	У кислотах не розкладається
Шпінель $MgAl_2O_4$	Червоний, сіро–зелений до чорного, блакитно–зелений; прозорий	Біла	8,0	Скляний	Недосконали; раковистий	Кристали октаедричні	3,50–3,70	У кислотах не розкладається
Мінерали зеленого кольору з різними відтінками								
Хлорити: пенін, клинохлор, тюрингіт та ін. $(Mg, Fe)_{4–5}Al_{1–2}[Al_{1–2}Si_{2–3}O_{10}](OH)_8$	Зелений, сірувато– та чорно–зелений; у тонких листочках прозорий або просвічуючий	Біла	2,0–2,5	На площині спайності перламутровий	Дуже досконала; нерівний	Кристали пластинчасті, табличчасті, агрегати від крупно– до приховано–лискуватих	2,60–,85	Розкладаєтьсяв концентрованій H_2SO_4, у тонких шарах прозорий
Серпентін $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	Темно–зелений до зеленувато–чорного; у тонких листочках прозорий або просвічуючий.	Сіра	2,5–3,0	Скляний–ний, жирний	Досконала; нерівний, занозистий	Зазвичай плітні маси, зім'яті, з тонкими прожилками азбесту	2,50–2,70	Розкладаєтьсяв HCl та H_2SO_4

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали зеленого кольору з різними відтінками								
Глауконіт $K_{<1}(Fe^{3+}, Fe^{2+}, Al, Mg)_{2-3}[(Si_3(Si, Al)O_{10}](OH)_2 \square \square \square nH_2O$	Зелений різних відтінків; непрозорий	Тьмяно–зелена	2,0–3,0	Матовий	Досконала, нерівний	Кристали призматичні, таблітчасті	2,20–2,00	Розкладаєтьсяв концентрованою HCl
Малахіт (мідна зелень) $Cu_2[CO_3](OH)_2$	Зелений; не–прозорий	Світло–зелена	3,5–4,0	Скляний–ний, шовковис–тий	Досконала; раковистий	Масинатічної форми з радіально– локнистою будовою	3,00–4,00	Зональне забарвлення, реагує з HCl зі скипанням
Актиноліт (променистий камінь) $Ca_2(Mg, Fe^{2+})_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$	Зелений різних відтінків; непрозорий	Безбарв–на до блідо–зеленої	5,0–6,0	Скляний	Досконала; нерівний	Кристали подовжені, голчасті	3,10–3,30	У HCl не розкладається
Піроксени моноклинні: діопсид $CaMg[Si_2O_6]$, авгіт $Ca(Mg, Fe, Al)[(Si\ Al)_2O_6]$	Зелений різ–них відтінків, авгіт чорний, зеленувато–і буро–чорний; непрозорий	Біла, злегка зеленувата	5,0–6,0	Скляний	Досконала; ступінчастий	Кристали короткокостовбчасті, рідше табличчасті, зер–нисті маси	3,20–3,60	У кислотах не розкладається
Піроксени ромбічні: енстатит, гіперстен $(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$	Білий, сірий, жовтуватий, гіперстен темно–бурий, темно–сірий; непрозорий	Сіра	5,5–6,0	Скляний	Середня; ступінчастий	Кристали таблитчасті, призматичні	3,10–3,50	У кислотах не розкладається

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали зеленого кольору з різними відтінками								
Рогова обманка $Ca_2Na(Mg, Fe^{2+})_4(Al, Fe^{3+})[(Si, Al)_4O_{11}]_2(OH)_2$	Темно–зелений, темно–бурий; непрозорий	Безбарвна або бура, сіра	5,5–6,0	Скляний	Досконала; занозистий	Кристали призматичні, стовпчасті	3,10–3,30	Не реагує із кислотами
Олівін (перидот, хризоліт) $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$	Жовтувато–зелений до зеленувато–чорного; напів–прозорий	Біла	6,5–7,0	Скляний	Середня або недосконала раковистий	Кристали сплощено–призматичні, зернисті агрегати	3,30–3,50	Порошок бурхливо розкладається в концентрованій H_2SO_4 з утворенням драглистого SiO_2
Турмалін $(Na, Ca)(Mg, Al)_6[B_3Al_3Si_6O_{27}](OH)_2$	Різні відтінки зеленого, рожевого, червоного кольору, чорний; прозорий	Біла	7,0–7,5	Скляний	Відсутня; нерівний	Кристали стовпчасті, ше–стуваті, радиально–променисті агрегати	2,90–3,25	У кислотах не розкладається
Мінерали блакитного та синього кольору з різними відтінками								
Аллофан $mAl_2O_3 \cdot nSiO_2$ □ □□□□□	Блакитний, зеленувато–жовтий, рідше бурий; прозорий	Біла	3,0	Скляний–ний, жирний	Досконала, раковистий	Щільні агрегати, гроноподібні форми, нальоти	1,85–1,89	Крихкий, у кислотах розчиняється з утворенням студенистого кремнезему
Целестин $Sr[SO_4]$	Блакитний, рідше білий, сірий; прозорий	Біла	3,0–3,5	Скляний	Досконала, нерівний, ступінчастий	Кристали таблитчасті, призматичні, стовпчасті, зернисті агрегати	3,90–4,00	Розчиняється у міцній H_2SO_4

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали блакитного та синього кольору з різними відтінками								
Халькантит (мідний купорос) $Cu[SO_4] \cdot 5H_2O$	Блакитний, синій, іноді із зеленуватим відтінком; прозорий	Біла	2,5	Скляний	Недоскона–лий; раковистий	Кристали рідкісні таблитчасті, суцільні маси, натпливи	2,10–2,30	Розчиняється у воді, забарвлюючи розчин у синій колір, на повітрі втрачає частину води і каламутніє
Кіаніт (дистен) $Al_2[SiO_4]O$	Блакитний, синій, іноді жовтий, рідше безбарвний; прозорий	Біла	4,0–7,0	Скляний	Досконала; ступінчастий	Кристали довгі стовпчасті, часто сплащені, радіально–променисті зростки	3,56–3,68	З кислотами не реагує
Апатит, фосфорит $Ca_5[PO_4]_3(F, Cl, OH)$	Блакитний, жовто–і синьо–зелений, без–кольоровий; прозорий	Сірувата, біла	5,0	Скляний–ний, на поверхні зламу жирний	Недосконала нерівний, раковистий	Кристали – шестигранні призми, зернисті агрегати, конкреційні скупчення–	3,18–3,21	Порошок, змочений у H_2SO_4, забарвлює полум'я в блакитно–зелений колір, розчиняється в HCl, H_2SO_4, HNO_3
Кордієрит (іоліт) $Al_3(Mg,Fe)_2[Si_5AlO_{18}]$	Синій, фіолетовий різних відтінків, рідше безбарвний, бурий; прозорий або непрозорий	Біла	7,0–7,5	Скляний	Недосконала; раковистий	Кристали рідкісні, призматичні, щільні зернисті маси	2,60–2,66	У кислотах не розкладається

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали блакитного та синього кольору з різними відтінками								
Бірюза $CuAl_6[PO_4]_4(OH)_8$ □ □□□□□□	Небесно–блакитний, яблучно–зелений; непрозорий	Біла	5,0–6,0	Скляний, восковий	Досконала; раковистий	Схованокристалічні маси нирко видної форми	2,60–2,83	Розчиняється у кислотах
Лазуріт (ляпис–лазур, ультрамарин, лазоряний камінь) $Na_8[AlSiO_4]_6[SO_4]$	Блакитний, блакитно–синій, фіолетово–, зеленувато–синій; непрозорий	Блідо–блакит–на	5,5	Скляний	Недосконала раковистий	Суцільні зернисті маси	2,38–2,42	Розкладається в HCl, виділяючи H_2S, після випаровування залишає драглистий кремнезем
Корунд Al_2O_3	Синьо–сірий, жовтий, синій (сапфір), червоний (рубін); прозорий	Біла	9,0	Алмазний до скляного	Відсутня; раковистий	Кристали бочкоподібні, пірамідальні, пластинчасті, іноді зернисті маси	3,95–4,10	На гранях кристалів є штрихування, в кислотах не розчиняється
Мінерали коричневого, бурого та синього кольору з різними відтінками								
Вермікуліт $(Mg, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_2$ □ □□□□□□	Золотисто–коричневий, бронзово–жовтий, буро–зелений; непрозорий	Біла	1,0–1,5	Скляний–ний, часто жирний	Досконала, нерівний	Лускаті, пухкі, землисті агрегати	2,4–2,7	Легко кришиться, розсипаючись на листочки, при нагріванні до 900–1000 ^{0}C. Збільшується в об’ємі в 15–25 разів

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали коричневого, бурого та чорного кольору з різними відтінками								
Флогопіт (магнезіальна слюда) $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	Темно–бурий, жовтувато–або червонувато–коричневий; прозорий	Біла	2,0–3,0	Скляний, на площині спайності перламутровий	Дуже досконала, нерівний	Кристали табличчасті, листувато–пластинчасті, лускаті агрегати	2,70–2,85	У кислотах розкладається, особливо в H_2SO_4
Біотит (чорна залізисто–магнієва слюда) $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$	Чорний, бурий, червоно–бурий; прозорий у тонких пластинках	Біла, сіра	2,0–3,0	Скляний, на площині спайності перламутро–вий	Дуже досконала; нерівний, ступінчастий	Кристали листові, лускаті	3,02–3,12	Розкладаєтьсяв H_2SO_4
Сфалерит (цинкова обманка) ZnS	Світло–коричневий, бурий, рідше жовтий; напівпрозорий	Білааб о світло–бура	3,0–4,0	Алмазний	Дуже досконала; раковитий	Кристали тетраедричні, зернисті маси	3,90–4,00	Розчиняється в концентрованій HNO_3 с виділенням сірки
Монацит (Ce, La)$[PO_4]$	Коричневий, медово–жовтий, іноді зеленуватий; напів–прозорий, непрозорий	Сірувато–біла	5,0–5,5	Сильний скляний	Вчинено–ня; раковистий	Кристали таблитчасті, рідше призматичні	4,90–5,50	У HCl розчиняється з трудом, виділяючи білий осад
Анатаз TiO_2	Коричневий, чорний; прозорий	Біла	5,0–6,0	Алмазний	Вчинено–ня; ступінчастий	Кристали дипірамідального вигляду, рідше таблитчасті	3,80–3,90	У кислотах не розчиняється

Продовження табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали коричневого, бурого та чорного кольору з різними відтінками								
Сфен (титаніт) $CaTi[SiO_4]O$	Золотисто–коричковий, медово–жовтий, бурий, іноді безбарвний; непрозорий	Біла	5,0–6,0	Близький до діамантового	Середня, раковиста	Кристали сплощено–призматичні	3,29–3,56	Розкладається в концентрованій H_2SO_4 з утворенням сульфату Са, у гарячій HCl розкладається частково
Брукіт TiO_2	Жовтувато–, червонувато–бурий до чорного; прозорий	Жовто–бура	5,5–6,0	Діамантовий	Недосконала; раковистий	Кристали таблитчасті	3,87–4,08	Не розчиняється навіть у HF
Перовскіт $CaTiO_3$	Темно–бурий, буро–чорний до чорного; непрозорий	Сіруваво–біла	5,5–6,0	Діамантовий	Досконала; нерівний	Кристали кубічної форми	3,97–4,04	Розкладається тільки в киплячій H_2SO_4
Діаспор $HAlO_2$ (AlOOH)	Сірий, білий, жовтий, бурий, коричневий; напівпрозорий	Біла	6,0–7,0	Скляний, перламутровий	Досконала; нерівний	Кристали тонкопластинчасті, листуваті, тонкочешуйчаті агрегати	3,30–3,50	Дуже тендітний, у кислотах і KOH не розчиняється
Каситерит (олов'яний камінь) SnO_2	Коричневий, темно–бурий до чорного; не–прозорий	Світло–бура	6,0–7,0	Діамантовий, у зламі смоляний	Недосконала; раковистий	Кристали дипірамідальні, пірамідально–призмтичні	6,80–7,00	З кислотами не реагує

Закінчення табл. 2

Мінерал	Колір; прозорість	Риска	Твердість	Блиск	Спайність; злам	Форма кристалів та агрегатів	Щільність, г/см^3	Інші властивості
Мінерали коричневого, бурого та чорного кольору з різними відтінками								
Ставроліт $Fe^{2+}Al_4[SiO_4]_2O_2(OH)_2$	Темно–бурий до чорного, червоно–бурого; непрозорий	Біла	7,0–7,5	Скляний	Досконала; нерівний	Кристали коротко– і довжино–призматичні, хрестообразні зростки	3,65–3,77	У кислотах не розчиняється
Графіт С	Чорний, свинцево–сірий; непрозорий	Чорна блискуча	1,0	Металоподібний	Досконала; рівний, зернистий	Зазвичай тонко–лускаті агрегати	2,09–2,23	М'який, жирний на дотик, пише на папері

Використана література

1. Бірюкович Л. О. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 234 с.

2. Шевченко С. В., Нікітенко І. С., Косарєва Є. В. Родовища природного каміння : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 118 с.

3. Минералогия Приазовья / Е. К. Лазаренко и др. Київ : Наукова думка, 1980. 432 с.

4. Meyer K. Physikalisch-chemische Kristallographie. Leipzig : Verlag fur Grundstoffindustrie, 1968. 337 с

5. Куцевол М. Л., Нестеровський В. А. Основи загальної мінералогії. Дніпро : НТУ "ДП", 2021. 144 с.

6. Борисенко Ю. А. Геометрическая кристаллография. Харьков : ХГУ, 1981. 85 с.

7. Бизов В. Ф., Трощенко В. М. Кристалографія, мінералогія і петрографія (короткий курс). Кривий Ріг : Мінерал, 2000. 121 с.

5. Куровець М. І. Кристалографія і мінералогія : навч. посіб. : в 2 ч. Львів : Світ, 1996. 225 с.

6. Сколоздра О. Є. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія : навч. посіб. Луцьк : Вид. центр ЛНТУ, 2010. 240 с.

Рекомендована література

1. Alpers C. N., Jambor J. L., Nordstrom D. K. (eds.) Sulfate Minerals. Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance Reviews in Mineralogy & Geochemistry. Vol. 40. Washington : Mineralogical Society of America, 2000. 608 p.

2. Barker A. J., A Key for Identification of Rock-Forming Minerals in Thin Section. CRC Press-Balkema, 2014. 181 p.

3. Da Mommio A., Pease V. Atlas of Minerals and Igneous and Metamorphic Rocks in Thin-Section. Cambridge University Press, 2025. 411 p.

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

(*українською мовою*)

Юрій Олександрович Бєлоконь
Віктор Олексійович Скачков
Ганно Володимирівна Карпенко
Максим Сергійович Курінний

КРИСТАЛОГРАФІЯ ТА МІНЕРАЛОГІЯ

Методичні вказівки
до лабораторних робіт
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності G10 «Металургія»
освітньо-професійних програм «Обробка металів тиском»,
«Металургія кольорових металів», «Металургія чорних металів»

Рецензент *С. М. Григор'єв*

Відповідальний за випуск *Ю. О. Бєлоконь*

Коректор *Г. В. Карпенко*