
ЗМІСТ

Переднє слово	7
Розділ 1. Вступ до мінералогії	9
1.1. Мінералогія як фундаментальна наука, основні поняття.....	9
1.2. Зв'язки мінералогії з іншими науками.....	24
1.3. Стисла історія мінералогії.....	27
1.4. Структура та завдання мінералогії.....	40
1.5. Мінерали, мінералогія та науково-технічний прогрес.....	41
1.6. Мінералогічні центри, товариства, видання.....	46
Розділ 2. Кристалохімія мінералів	49
2.1. Стисла історія кристалохімії мінералів.....	49
2.2. Атоми і кристали	55
2.2.1. Стисла характеристика атомів.....	55
2.2.2. Хімічний зв'язок атомів у кристалах.....	65
2.2.3. Розміри атомів та іонів у кристалах.....	92
2.2.4. Ефективні заряди атомів у кристалах.....	104
2.2.5. Координаційні числа та координаційні поліедри.....	105
2.2.6. Щільні упаковки атомів та іонів.....	113
2.3. Кристалічна структура мінералів.....	118
2.3.1. Загальні відомості, 14 ґраток Браве, федорівські (просторові) групи симетрії.....	118
2.3.2. Способи зображення структур кристалів.....	118
2.3.3. Структурні типи та мотиви мінералів.....	133
2.3.4. Морфотропія, поліморфізм, політипізм.....	153
2.3.5. Порядок-непорядок у мінералах.....	177
2.3.6. Дефекти в мінералах.....	196
2.3.7. Загальний погляд на кристалічну структуру мінералів і фактори, що її зумовлюють.....	211
2.4. Хімічний склад мінералів та ізоморфізм.....	218
2.4.1. Загальна характеристика хімічного складу мінералів.....	218
2.4.2. Ізоморфізм у мінералах: основні поняття, історичні відомості та теоретичні засади.....	226

2.4.3. Типи ізоморфізму	239
2.4.4. Чинники та правила ізоморфізму	247
2.4.5. Розпад твердих розчинів і його генетичне значення	256
2.4.6. Водень у складі мінералів	277
2.4.7. Радіоактивні елементи в мінералах.....	282
2.4.8. Кристалохімічні формули мінералів	292
Розділ 3. Морфологія та анатомія мінералів	298
3.1. Історичні відомості та загальні положення.....	299
3.2. Морфологія мінеральних індивідів і фактори, що її зумовлюють... 313	
3.2.1. Габітус і обрис кристалів	329
3.2.2. Рельєф на гранях кристалів	336
3.2.3. Скелетні кристали	343
3.2.4. Ниткоподібні кристали.....	349
3.2.5. Розщеплені та скручені кристали	351
3.3. Анатомія мінералів	355
3.3.1. Історичні та загальні відомості	355
3.3.2. Елементи анатомії кристалів і методи її виявлення.....	356
3.3.3. Включення в кристалах	365
3.3.4. Закони анатомії кристалів	378
3.4. Закономірні зростки мінералів.....	382
3.4.1. Паралельні зростки кристалів.....	382
3.4.2. Двійникові зростки кристалів	383
3.4.3. Епітаксичні зростки кристалів.....	401
3.5. Морфологія мінеральних агрегатів: динамічні аспекти	406
3.5.1. Поверхні стикання між мінеральними індивідами.....	407
3.5.2. Критерії відносного віку мінеральних індивідів в агрегатах.....	412
3.5.3. Зернисті мінеральні агрегати.....	416
3.5.4. Секреції й конкреції.....	422
Розділ 4. Аморфний, метаміктний, колоїдний та ультрадисперсний стан речовини. Мікромінералогія і наномінералогія.	
Квазікристали	431
Висновки	443
Використана та рекомендована література	446
Додатки	460
Показчик термінів і мінералів	523

CONTENTS

Foreword	7
Chapter 1. Introduction to mineralogy	9
1.1. Mineralogy as fundamental science, basic concepts	9
1.2. Ties of mineralogy with another sciences	24
1.3. Compact history of mineralogy	27
1.4. Structure and tasks of mineralogy	40
1.5 Minerals, mineralogy and scientific-technical progress	41
1.6. Mineralogical centres, societies, publications.....	46
Chapter 2. Crystal chemistry of minerals	49
2.1. Compact history of crystal chemistry of mineral	49
2.2. Atoms and crystals	55
2.2.1. Compact characteristic of atoms	55
2.2.2. Chemical bond of atoms in crystals	65
2.2.3. Size of atoms and ions in crystals	92
2.2.4. Effective charges of atoms in crystals	104
2.2.5. Coordination numbers and coordination polyhedrons	105
2.2.6. Close packing of atoms and ions	113
2.3. Crystal structure of minerals	118
2.3.1. General information, 14 Bravais lattices, Fedorov's (space) groups of symmetry	118
2.3.2. Methods of representation of minerals structure	132
2.3.3. Structural types and motives of minerals	133
2.3.4. Morphotropy, polymorphism and polytypism	153
2.3.5. Order-disorder in minerals.....	177
2.3.6. Defects in minerals	196
2.3.7. General view on the minerals crystal structure and the factors causing it.....	211
2.4. Chemical composition of minerals and isomorphism	218
2.4.1. General characteristic of minerals chemical composition	218
2.4.2. Isomorphism in minerals: general concepts, historical information and theoretical aspects	226

2.4.3. Types of isomorphism.....	239
2.4.4. Factors and rules of isomorphism	247
2.4.5. Decay of solid solutions and its genetic importance.....	256
2.4.6. Hydrogen in minerals	277
2.4.7. Radioactive elements in minerals	282
2.4.8. Crystal-chemical formulas of minerals	292
Chapter 3. Morphology and anatomy of minerals	298
3.1. Historical information and general principles	299
3.2. Morphology of mineral individuals and the factors causing it	313
3.2.1. Habit and appearance of crystals	329
3.2.2. Relief on crystals faces.....	336
3.2.3. Skeletal crystals	343
3.2.4. Thread crystals	349
3.2.5. Split and twisted crystals.....	351
3.3. Anatomy of minerals.....	355
3.3.1. Historical and general information	355
3.3.2. Elements of crystals anatomy and methods of its revealing.....	356
3.3.3. Inclusions in crystals.....	365
3.3.4. The laws of crystals anatomy	378
3.4. Regular growthes of minerals	382
3.4.1. Parallel growthes	382
3.4.2. Twins	383
3.4.3. Epitaxial growthes.....	401
3.5 Morphology of minerals aggregates: the aspects	406
3.5.1. Surfaces of contact between mineral individuals.....	407
3.5.2. Criteria of relative age of mineral individuals.....	412
3.5.3. Grainy mineral aggregates.....	416
3.5.4. Secretions and concretions.....	422
Chapter 4. Amorphous, metamict, colloidal and ultra disperse states of substance. Micromineralogy and nanomineralogy. Quasicrystals	431
Conclusions	443
References.....	446
Appendix.....	460
Term and minerals indices	523

ПЕРЕДНЄ СЛОВО

Мінерали, руди та гірські породи з прадавніх часів і донині являють собою основний ресурс для розвитку цивілізації й тому знання про них – це органічна і невід’ємна частка загальної культури людства. Обсяг маси мінералів, що видобуваються в тій чи іншій країні, є досить точною мірою її економічної спроможності. Розвинені країни, звичайно, багато видобувають (переробляють) і багато споживають мінералів. Отже, мінералогія як фундаментальна наука про мінерали має надзвичайно велике теоретичне і практичне значення в сучасному суспільстві. Ще більша роль належатиме їй в майбутньому у зв’язку зі зростаючим впливом мінералів і виготовлених з мінеральної сировини матеріалів на розвиток нової техніки, високих технологій, металургії, сільського господарства, хімічної промисловості, гірничої та збагачувальної галузей, індустрії штучних кристалів, гемології, медицини, екології, зародження й розвиток нових галузей. Тому країни з розвиненим мінерально-сировинним комплексом адекватно забезпечуються кваліфікованими фахівцями з геологічних, гірничих і екологічних спеціальностей. Позитивну роль у цьому процесі відіграє наявність якісної навчальної літератури з мінералогії.

Україна за запасами корисних копалин і потужністю мінерально-сировинного комплексу посідає одне з провідних місць у Європі. Крім того, є реальна перспектива розширення мінерально-сировинної бази, виявлення нових видів мінеральної сировини та створення нових гірничорудних галузей промисловості. Усе це, а також брак в Україні сучасних навчальних видань з мінералогії спонукали нас написати цей підручник, у якому зроблено спробу віддзеркалити, наскільки це було можливо в межах виділеного обсягу, сучасний стан мінералогічної науки.

Нагальна потреба в новому підручнику з мінералогії для студентів України існує вже чимало років. Досить згадати, що останній україномовний підручник «Курс мінералогії» Є.К. Лазаренка видано в Україні ще в 1970 р. Нині він є бібліографічною рідкістю. Крім того, цей (як і його російський аналог, виданий в Москві в 1971 р.) чи не найкращий для свого часу підручник, з погляду досягнень сучасної мінералогії, потребує істотної модернізації. Новіші й сучасніші за змістом підручники, що вийшли друком за межами України (А.В. Миловський, О.В. Кононов «Минералогия» (1982), И. Костов «Минералогия» (1993), А.Г. Булах «Общая минералогия» (2002), Батти Х., Принг А. «Минералогия для студентов» (2003), Н.Р. Wenk, А. Bulakh «Minerals» (2003) та ін.), наявні в Україні в обмеженій кількості.

Пропонований підручник має свої особливості. По-перше, розрахований на студентів, які до проходження курсу мінералогії ґрунтовно засвоїли універ-

ситетський обсяг знань з кристалографії, загальної геології, фізики та хімії. По-друге, структура підручника є дещо нетрадиційною, кореспондуючись до певної міри лише із зазначеним вище підручником А.Г. Булаха (2002), але має інше наповнення. По-третє, автори намагалися якомога більше й у всіх розділах наблизити зміст книги до розуміння мінералогії насамперед як генетичної науки, покликаної висвітлювати природну історію мінерального царства. Чому? Тому що всі якості мінералів: забарвлення, декоративність, склад, будова, форма, розмір, розподіл у природі, практичне значення спричинені генезисом. У зв'язку з цим ставиться мета допомогти студентам не лише засвоїти матеріал курсу мінералогії в традиційному розумінні, але й навчитися при спостереженні об'єктів мінералогії мислити генетичними образами, читати історію на зразках мінералів. І нарешті. Підручник складається з двох частин, які друкуються окремими книгами. У першій частині висвітлюються основні поняття, структура, історія, значення мінералогії, а також кристалохімія, морфологія та анатомія мінералів, у другій – властивості мінералів, генетична, прикладна та систематична мінералогія.

У процесі роботи над підручником використано значний за обсягом матеріал з навчальної, наукової та довідкової літератури. Зокрема, до підручника залучені принципово важливі теоретичні положення, малюнки, схеми, зображення структур, портрети вчених тощо з робіт А.М.Асхабова, В.Ф.Барабанова, Х.Батті, А.Г.Бетехтіна, М.В.Белова, Г.Б.Бокія, А.Г.Булаха, У.Брега, Г.-Р.Венка, В.І.Вернадського, Д.К.Возняка, А.І.Гінзбурга, О.О.Годовикова, Д.П.Григор'єва, Н.З.Євзікової, М.П.Єрмакова, А.Г.Жабіна, В.А.Жарикова, В.А.Каложного, Г.Кларинбулла, К.Клейна, Д.С.Коржинського, І.Костова, О.В.Кононова, В.І.Кузьміна, О.В.Міловського, Є.К.Лазаренка, Дж.Мак-Коннелла, А.С.Марфуніна, О.І. Матковського, В.С.Мельникова, Е.Нікеля, М.І.Новгородової, Г.Т.Остапенка, А.Патніса, Н.В.Петровської, Б.І. Пирогова, О.М.Платонова, О.С.Поваренних, Е.В. Польшина, В.А.Попова, А.Прінга, Д.Ю.Пушаровського, Г.Рьослера, Є.І.Семенова, Г.О.Сидоренко, В.С.Соболева, А.М.Таращана, В.С.Урусова, О.Є.Ферсмана, В.А.Франк-Камеєцького, К.Фрея, І.І.Шафрановського, Г.Штрунца, М.П.Юшкіна, Л.К.Яхонтової тощо, а також матеріали з Інтернету різних авторів.

Корисними були критика та пропозиції щодо вдосконалення змісту підручника з боку викладачів кафедри мінералогії, геохімії та петрографії Київського національного університету імені Тараса Шевченка, насамперед О.В.Зінченка, а також науковців Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України (О.М.Платонова, А.М.Таращана, Д.К.Возняка). Усім їм завдячуємо.

Ми щиро дякуємо також Тетяні Гордієнко і Олені Білан за велику допомогу при оформленні рукопису та рисунків до друку. Не можемо не подякувати М.Б.Лейбову за надання на електронному носії слайдів мінералів (див. Додаток IV).

Зауваження, поради, враження щодо підручника просимо надсилати на таку адресу: 03022 Київ, вул. Васильківська, 90, геологічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кафедра мінералогії, геохімії та петрографії, професору В.Павлишину.

РОЗДІЛ 1

ВСТУП ДО МІНЕРАЛОГІЇ

Зміст, мета, об'єкти, структура мінералогії з плином часу змінювались. На початку своєї історії вона була всеосяжною дисципліною про неживу природу. Пройшовши декілька етапів диференціації, мінералогія трансформувалася в сучасну природничо-історичну науку про мінерали-кристали.

Знахідки й споживання життєво важливих мінералів були настільки значущі, що знайшли віддзеркалення в періодизації історії людства: **кам'яний вік** (використовується здебільшого кремій, обсидіан, нефрит), **бронзовий вік** (халькопірит, каситерит), **залізний вік** (гетит, потім гематит, магнетит), **вік атомної енергетики** (ураніт). Практицизм мінералогії ніяк не зменшився і в наш час, але нині він реалізується на засадах теоретичних напрацювань та емпіричних закономірностей, тобто знань, що отримуються внаслідок всебічного дослідження хімічного складу, будови, форми, властивостей, умов утворення і розподілу в природі мінералів. Удосконалення методичного арсеналу мінералогії, відкриття нових мінералів, поглиблене вивчення, хай і давно відомих мінералів, урешті-решт збагачують її теорію, яка подалі використовується для відкриття та освоєння нових покладів мінеральної сировини. Але є й інший бік цієї теми. У другій половині ХХ ст. виникли гострі екологічні проблеми, спричинені пошуками, розвідкою, переробкою та споживанням мінеральної сировини. У подоланні їх теж важлива роль належить і належатиме мінералогії.

1.1. Мінералогія як фундаментальна наука, основні поняття

Мінералогічна наука – це дуже вагома в сучасному суспільстві сфера людської діяльності, у якій напрацьовуються, систематизуються і скеровуються в практичне русло знання про мінерали. Сучасна мінералогія має всі ознаки фундаментальної науки і тому є основою розвитку багатьох галузей економіки.

Мінералогія – наука про мінерали, їхній хімічний склад, будову, властивості, генезис і розподіл у природі. Мінералогія покликана сприяти задоволенню потреб людства в мінеральній сировині та її раціональному використанні.

Мінералогія – давня наука (за деякими даними її орієнтовно 2000 років), хоча сам термін «мінералогія» з'явився порівняно недавно – 1636 р. і запропонований італійським натурфілософом Бернардом Цезієм. Зародилася вона в процесі й унаслідок практичної діяльності людини. Про практичне значен-

ня нашої науки свідчить, зокрема, походження терміна «мінерал» – від давнього слова «мінера», що означає руда або камінь, з якого можна вилучити метал. Передбачається, що вживання терміна «мінерал» сягає сивої давнини (~300 р. до н. е.) і пов'язано з рудокопною та металоплавильною діяльністю кельтських племен.

Мінералогія – природничо-історична наука, що будується на генетичній основі. Ця дефініція мінералогії стисло окреслює притаманну їй найголовнішу специфіку, іншими словами – її індивідуальність. Торкнемося цього питання ґрунтовніше. Спочатку згадаємо видатного російського академіка В.М.Севергіна, який ще в 1798 р. дав дуже співзвучне нашому часу визначення мінералогії: **«Мінералогія є частиною природної історії»** (виділено нами – В.П.), *яка навчає нас пізнавати викопні тіла (за сучасною термінологією – мінеральні тіла), тобто відрізнити їх від інших тіл за суттєвими ознаками, знати їхні властивості, родовища, користь...»*

Індивідуальність статусу науки визначається двома основними критеріями – об'єктами дослідження та метою дослідження цих об'єктів. Основними об'єктами дослідження в мінералогії є мінерали. Але мінерали вивчаються й іншими науками. Можна згадати, що вивчення магнетиту фізиками привело до народження вчення про магнетизм, що явище радіоактивності було відкрито в уранініті-настурані, що найпотужніший метод визначення атомної структури кристалічної речовини – рентгеноструктурний аналіз започатковано першим спостереженням дифракції рентгенівських хвиль у кристалах мінералів, що вивчення мінералів у медицині напрацьовуються нові методи лікування недуг тощо. Тому зацентруємо увагу на мету мінералогічної науки, яку вчені ХХ ст., спираючись на своїх попередників – Плінія Старшого, Ж.Л.Бюффона, М.В.Ломоносова, М.І.Кокшарова, В.І.Вернадського та власні напрацювання, стисло визначили так: **пізнання природної історії мінерального царства**. Отже, статус мінералогії як самостійної науки вичерпно обґрунтовується поєднанням – об'єкти (мінерали) плюс мета (пізнання природної історії мінералів).

Мінералогія – ретроспективна наука. Це означає, що вона покликана за остаточним результатом, представленим кам'яним продуктом, з'ясувати (відтворювати) природу процесу, що призвів до виникнення цього продукту, тобто пізнати генезис мінералів, бо саме він обумовлює всі їхні якості і розподіл у надрах Землі чи інших космічних тіл.

Сучасна мінералогія – розгалужена наука, тобто характеризується значним розмаїттям теоретичних і прикладних напрямів, а також відповідною системою назв – номенклатурою. За даними Є.К.Лазаренка, мінералогія нараховує близько 14000 термінів, тобто слів або словосполучень, якими позначаються наукові поняття. Серед останніх є такі, які звичайно називаються основними поняттями, бо без них утрачається сама наука. На жаль, багато термінів у мінералогії, у тому числі ті, що позначають основні поняття, не мають єдиного тлумачення. Це ускладнює викладання мінералогії, науковий процес, взаємопорозуміння між ученими. Тут доречно згадати слова Рене Декарта: *«Визначайте значення слів і ви позбавите людство від половини його помилок»*.