

УДК 549(477-924.52)

ЕНЦИКЛОПЕДІЯ СИЛІКАТНИХ МІНЕРАЛІВ І ПРОЦЕСІВ МІНЕРАЛОУТВОРЕННЯ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ

Рецензія на книги “Мінерали Українських Карпат. Силікати” (2011)
та “Мінерали Українських Карпат. Процеси мінералоутворення” (2014)

М. Братусь

*Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, 79060 м. Львів, Україна
E-mail: igggk@mail.lviv.ua*

Рецензовані книги “Мінерали Українських Карпат. Силікати” (О. Матковський, В. Квасниця, І. Наушко та ін. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 520 с.) та “Мінерали Українських Карпат. Процеси мінералоутворення” (О. Матковський, П. Білоніжка, Д. Возняк та ін. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. 584 с.) є завершальними працями в серії “Мінерали Українських Карпат”, що їх видавали по лінії Комісії мінералогії і геохімії Карпато-Балканської геологічної асоціації в ході реалізації задумів акад. Є. Лазаренка щодо створення мінералогічного словника-довідника (енциклопедії) Карпато-Балканської гірської системи. Структура викладу матеріалів у книгах є вдалою.

Перша книга “Силікати”, крім передмови й післямови, містить три розділи, серед яких головним і найбільшим за обсягом є третій розділ, присвячений характеристиці мінералів. У першому розділі книги розглянуто геологічну будову, тектоніку, історію розвитку Українських Карпат у стислій, проте всеохопній формі. Автори проаналізували різні погляди на геологічну будову Карпат, їхню еволюцію в часі, сучасний стан наукових досліджень геологічної будови та історії розвитку Карпатського регіону.

У другому розділі виділено й досить детально схарактеризовано сім силікатовмісних мінеральних комплексів: осадові та осадово-вулканогенні (палеозойські, мезозойські, кайнозойські), магматичні (протерозойсько-палеозойські, мезозойські, кайнозойські), гідротермальні-метасоматичні (серпентиніти, скарни, лиственіти й березити, пропіліти, аргілізити і вторинні кварцити), метаморфічні (регіонально-метаморфічні й контактово-метаморфічні), гіпергенні, космогенні, а також силікатовмісні комплекси неметалевої сировини, представлені перлітами, унгваритами, бентонітами, каолінами, менілітовими аргілітами, силіцитами. Характеристика мінеральних комплексів вдало доповнена ілюстративними матеріалами (геологічні карти, схеми, розрізи та ін.), що унаочнюють приуроченість окремих силікатовмісних мінеральних комплексів до певних геолого-структурних елементів регіону.

Для силікатовмісних осадових та осадово-вулканогенних комплексів наведено їхнє поширення у різновікових структурно-тектонічних зонах, гранулометричний і петрографічний склад, структурні й інші особливості порід. Ці комплекси поширені головню в Карпатах і Передкарпатті. Магматичні комплекси представлені великим розмаїттям магматичних порід різного віку та складу від ультраосновних до кислих. Їхнє поширен-

ня пов'язане з Закарпатським прогином і Мармароським масивом. Усі відміни порід добре вивчені петрографічно, петрохімічно, за даними ізотопної геохронології та іншими показниками.

Третій розділ присвячений характеристиці 120 мінеральних видів і різновидів, серед яких понад 20 виявлено в другій половині XX ст. Характеристику мінералів автори подали за структурною класифікацією силікатних мінералів, згідно з якою виділяють мінерали каркасної, острівної, кільцевої, ланцюжкової, стрічкової, шаруватої структур і рентгеноаморфні сполуки. Опис мінералів охоплює відомості про поширення, форми виділення, морфологію, хімічний склад і структурні особливості, фізичні властивості, парагенезис і генезис. Особливу увагу приділено виявленню для більшості мінералів їхніх типоморфних ознак і практичного значення. Усі ці дані ґрунтуються на власних оригінальних дослідженнях авторів книги з використанням сучасних новітніх методів і на детальному критичному аналізі літературних даних.

Серед каркасних силікатів найдетальніше схарактеризовано кварц та його різновиди й поліморфні модифікації, велике розмаїття польових шпатів і цеолітів. Зазначено, що в розрізах осадових товщ кварц наявний у зернах, які мають різний розмір і ступінь обкатування, по-різному тріщинуваті й наповнені включеннями тощо, що свідчить про різні первинні джерела його походження. Кварц досить поширений у складі різних типів метаморфічних порід Мармароського масиву, його вміст може коливатися від 20 % у ортогнейсах до 90 % у кварцитах. Детально розглянуто кристаломорфологію й онтогенію кварцу, його фізичні властивості, вивчені методами рентгено-, катодо- і термолюмінесценції, ІЧ-спектроскопії та електронного парамагнітного резонансу, досліджено включення й ізотопний склад кисню. Усі ці характеристики використано не тільки для генетичних, а й для розшуково-оцінних цілей. Серед цеолітів найбільшу увагу приділено кліноптилоліту – головній складовій цеолітових руд Сокирницького родовища в Закарпатті.

Серед острівних силікатів описано мінерали таких груп: олівіну, циркону, гранату, кіаніту, ставроліту, топазу, титаніту, дюмортьєриту, хлоритоїду, ільваїту, пумпеліту (лотриту), зуніту й епідоту. Важливими є перші знахідки в Україні ільваїту і зуніту. Найдетальніше досліджено циркон і гранати. Циркон належить до найпоширеніших акцесорних мінералів магматичних, метаморфічних і теригенних осадових порід. Йому притаманне велике розмаїття морфологічних типів кристалів і своєрідна внутрішня морфологія (зональна будова, пересиченість різними включеннями та ін.), він містить домішки Hf, U, Y, Yb тощо.

Гранати представлені альмандином, спесартином, гросуляром і андрадитом. Найбільше поширений альмандин, який є важливим породоутворювальним мінералом магматичних і метаморфічних порід. Його добре досліджено оптичними, хімічними й рентгенометричними методами. В осадових і осадово-вулканогенних силікатовмісних комплексах альмандин трапляється як теригенний мінерал; визначено його первинні джерела.

З різним ступенем детальності автори схарактеризували мінерали інших підкласів. Особливу увагу приділено порівняно рідкісним мінералам, які стали першими знахідками в Україні або колишньому СРСР: піжоніту (виявлено у вулканітах Закарпаття), піроксмангіту й данемориту (відшукали в карбонатно-силікатних манганових рудах Чивчинських гір). Досить детально вивчено промислово важливі шаруваті силікати групи каолініту (каолінит, дикіт і накрит), слюди (мусковіт, біотит), смектити (монтморилоніт, нонтроніт, бейделіт), гідрослюди, глауконіт. Серед змішаношаруватих силіка-

тів описано сколіт – новий мінерал, виявлений у пісковиках району Сколе Передкарпаття; схарактеризовано новий різновид стильпномелану – Mn-стильпномелан, що його відшукали серед манганових силікатно-карбонатних руд Чивчинських гір.

На завершення аналізу першої книги зазначимо, що для багатьох мінералів (кварц, польові шпати, слюди, піроксени, піроксеноїди, амфіболи, гранати, циркон та ін.) наведено типоморфні особливості морфології, хімічного складу, структури, різноманітних фізичних властивостей, включень і парагенезисів, на підставі яких визначено умови утворення мінералів та їхнє практичне значення. Важливо, що поряд з детальним описом усіх мінералів наведено багато ілюстративного матеріалу: морфологія кристалів і форми виділень у вмінних породах, діаграми варіацій складу, термографічні, рентгенометричні, ІЧС та інші базові характеристики.

Друга книга присвячена процесам мінералоутворення в Карпатському регіоні, які вивчали в породах різного складу й широкого вікового діапазону – від протерозойсько-палеозойських до нинішніх днів. Автори книги схарактеризували сім типів процесів мінералоутворення: магматичний, гідротермально-метасоматичний, осадовий та осадово-вулканогенний, метаморфічний, гіпергенний, космогенний і сучасний. Масштаби розвитку цих типів мінералоутворення різні, і ступінь вивченості їх значно різняться.

Мінералоутворення в магматичних комплексах вивчене нерівномірно. Найдетальніше воно досліджене в кайнозойських магматичних комплексах. Зокрема, для магматичних порід Чорної гори виявлено стадійність мінералоутворення з еволюцією складу плагіоклазів, олівіну, гіперстену і клінопіроксенів у разі кристалізації розплаву, виділено кілька генерацій плагіоклазів та інших мінералів, визначено залежність вмісту залізного мінералу в гіперстені від вмісту SiO_2 в породі та низку інших петрохімічних характеристик.

Започатковане В. Калюжним і продовжене його учнями (Д. Возняк, Б. Жовтуля та ін.) вивчення включень у магматичних мінералах стало базою для отримання конкретних значень параметрів кристалізації магматичних мінералів у неогенових вулканітах Закарпаття. За результатами термобарогеохімічних досліджень виявлено незмішувальність силікатних розплавів у включеннях, визначено температуру гомогенізації розплавних включень у кварці, плагіоклазах, піроксенах з різних порід, а за показниками заломлення скла цих включень – вміст SiO_2 в породі.

Детально й усебічно вивчено розплавні включення у кварці, цирконі, апатиті, анортклазі, тридиміті й інших мінералах. Зокрема, в анортклазі виявлено включення сольового розплаву, який міг мати і ліквідаційну(?) природу. Температурний інтервал кристалізації магматичних мінералів досить широкий. Для акцесорного циркону він становить 1 400–1 200 °С, для кварцу ріолітових туфів – від 1 400 до 900–800, а для анортклазу і тридиміту з міаролових порожнин – 900–800 °С. Запропоновано використовувати результати визначення температури гомогенізації в первинних включеннях та показника заломлення скла (як показника вмісту SiO_2 в породі) для стратиграфічного й петрохімічного розчленування зовнішньо подібних вулканічних порід.

Найдетальніше схарактеризовано гідротермально-метасоматичне мінералоутворення, найпоширеніше серед метаморфічних порід Мармароського масиву і кайнозойських магматичних комплексів. У Мармароському масиві таке мінералоутворення автори пов'язують з регресивним метаморфізмом. Досить детально висвітлено особливості формування золотого (родовище Сауляк і рудопрояв Білий Потік та ін.), поліметалевого зруденіння, баритових рудопроявів та метасоматичне мінералоутворення у вмінних породах. Термобарогеохімічними методами вивчено умови формування золоторудного

родовища Сауляк, для якого визначено температурно-парагенетичні схеми стадійності мінералоутворення.

Гідротермально-метасоматичне мінералоутворення серед мезозойських магматичних комплексів висвітлено скромніше. Воно представлено декількома типами: скарноутворення, серпентинізація, лиственізація, альбітизація, хлоритизація, цеолітизація, карбонатизація. Скарни діопсид-геденбергітового ряду з гранатом grosular-андрадитового складу, кварцом та ільваїтом виявлено у фундаменті Берегівського родовища. Для них наведено результати дослідження включень у піроксенах, кварці, гранаті, за якими температура формування мінералів скарнів становить 310–270 °С.

Серпентинізація і лиственізація розвинені по ультрамафітах альпінотипного й базальтоїдного типів. Наведено нові цікаві дані О. Ступки щодо виявлених в антигориті дрібних включень сплаву залізного нікелю (когеніту) і самородного заліза, що свідчить про високу температуру серпентинізації олівіну. Серед процесів альбітизації, хлоритизації, цеолітизації й карбонатизації найдетальніше вивчено цеолітоутворення. Термобарогеохімічними методами детально досліджено умови формування цеолітовмісних парагенезисів тростянецького вулканогенного комплексу. Вони утворилися за $T = 300\text{--}200$ °С з розчинів, збагачених вуглеводневими сполуками ($\text{CH}_4 > 90\%$).

У кайнозойських магматичних комплексах Закарпатського прогину гідротермально-метасоматичне мінералоутворення поширено найбільше. Автори розглянули його загальні особливості; детальнішу інформацію наведено про мінерали Берегівського рудного району та Вигорлат-Гутинського пасма. Зокрема, у Берегівському рудному районі описано особливості мінералоутворення під час формування Берегівського та Мужієвського золото-поліметалевих родовищ, срібної мінералізації і флюорит-барит-кварцових жил у межах Берегівського рудного поля, барит-поліметалевих руд Біганського родовища. Схарактеризовано пов'язане з гідротермально-метасоматичними процесами формування різних типів метасоматитів і покладів алунітових, каолініт(дикіт)-галуазитових руд і бариту.

Найдетальніше досліджено формування золото-поліметалевих родовищ. За Л. Скакуном, вони утворилися у чотири стадії: сульфідну, кварц-баритову, карбонат-кварцову і карбонат-гетитову. Наявність численних генерацій кварцу, бариту, карбонату і рудних мінералів дало змогу детально вивчити термобаричні й фізико-хімічні умови кристалізації мінералів різних генерацій у виділених стадіях. Кристалізація окремого мінералу в кожній стадії відбувалася за змінних значень деяких параметрів. Наприклад, флюорит кварц-баритової стадії формувався за температури 220–200 °С з розчинів солоністю 12–10 мас. %, тоді як кварц – за 225–159 °С з розчинів солоністю 6,0–1,5 мас. %. Змінювався і склад газової фази включень у цих мінералах.

На підставі термобаричних даних розроблено генетичну модель, згідно з якою формування Берегівського рудного поля відбувалося в два етапи: передрудний високотемпературний (350–260 °С) і рудний середньотемпературний (260–140 °С). У складі газової фази включень у різних співвідношеннях наявні діоксид вуглецю, азот і метан. Концентрація солей у водному розчині становить від 1,5 до 18,0 мас. %. У сольовому складі розчинів зафіксовано різні співвідношення аніонної (гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна) і катіонної (кальцій-магній-натрієва) складових. За результатами вивчення ізотопної природи вуглецю й кисню карбонатів та CO_2 включень, сірки в сульфідах визначено полігенну природу цих компонентів у мінералоутворювальних флюїдах.

Цікавими є дані про флюорит-барит-кварцову мінералізацію, яка достатньо поширена в межах Берегівського рудного поля й представлена агрегатами кварцу смугастої

текстури – дрібнозернистими, нерідко прихованокристалічними. Онтогенетичні особливості кварцу, бариту і флюориту та їхніх генерацій добре описала Н. Словотенко, наведено численні ілюстрації мікроскопічних, катодолюмінесцентних і BSE-зображень окремих мінералів та їхніх агрегатів. Це дало змогу відобразити динаміку формування цього типу мінералізації та створити відповідну онтогенічну модель.

Серед гідротермально-метасоматичного мінералоутворення в межах Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма автори окремо розглянули особливості формування різних типів метасоматитів, ртутного і ртутно-арсен-стибієвого, телур-бісмутного і бісмут-молібденового зруденіння, цеоліто-, бентоніто- і давсонітоутворення. Детально схарактеризовано 12 фацій метасоматичного мінералоутворення (за Е. Лазаренком): кварц-гурмалінову, кварц-топазову, кварц-флюоритову, монокварцову, кварц-каолінітову, каолініт-діомортъеритову, опалолітову, алунітову, кварц-гідрослюдисту, каолініт-ангідритову, монтморилонітову та карбонат-цеолітову. Більшість з них не набула широкого розвитку, проте заслуговує на подальші дослідження.

Детальніше вивчено ртутне і ртутно-арсен-стибієве зруденіння, пов'язане з етапом тектономагматичної активізації. У книзі зазначено, що за даними численних дослідників формування ртутного зруденіння відбувалось у температурному інтервалі 250–90 °С. У цьому інтервалі виділяють декілька стадій метасоматичного мінералоутворення, з якими пов'язана еволюція кристаломорфології кіноварі та супутніх мінералів. Важливою у формуванні кіноварі та її парагенетичних асоціацій є участь нафтових вуглеводнів.

Також наведено детальну характеристику осадового й осадово-вулканогенного мінералоутворення. Зокрема, описано особливості утворення мінералів під час формування кременистих порід, галогенне мінералоутворення в процесі формування калійно-магнієвих солей та кам'яної солі, сірко-, сульфато-, карбонато- і солеутворення в баденський час, умови утворення і трансформаційні перетворення смектитів та змішаношаруватих фаз, походження і трансформаційні перетворення гідрослюд, особливості утворення глауконіту, сколіту й селадоніту; процеси формування мідного, свинцево-цинкового, манганового, золотого зруденіння, бентонітових і бентонітоподібних глин, прожилково-вкрапленої мінералізації.

В осадовому мінералоутворенні виділено седиментогенне (механогенне, хемогенне і хемогенно-біогенне) та післяседиментаційне (діагенез, катагенез і метагенез). Післяседиментаційне мінералоутворення в теригенних комплексах представлене карбонатами різного складу, різноманітними формами SiO_2 , слюдистими силікатами, сульфідами. Парагенезиси цих мінералів, форми виділень та інші ознаки є показниками середовища мінералоутворення. Зокрема, кулеподібні карбонатні конкреції приурочені до пелагічних глинистих відкладів, тоді як лінзоподібні тіла – до вуглецевмісних товщ. Розглянуто важливу роль деструкції органічної речовини в післяседиментаційному мінералоутворенні як джерела енергії й новоутворених продуктів, наприклад, CO_2 , CH_4 та інших, які беруть активну участь у подальших процесах мінералоутворення.

Особливу увагу приділено процесам кремененагромадження в різновікових товщах Карпат і походженню вихідного матеріалу. Виділено три етапи кремененагромадження: дофлішовий, флішовий і післяфлішовий. Інтенсивність проявів біогенної кремнеземової седиментації корелює з проявами вулканогенної діяльності.

Галогенне мінералоутворення широко представлене серед евапоритових комплексів Карпатського регіону. Автори навели аналіз поглядів на формування галогенних порід. Детальне вивчення складу і концентрації солей у флюїдних включеннях седиментоген-

них мінералів та мінералів післяседиментаційної перекристалізації дало змогу відтворити фізико-хімічні параметри відповідних процесів. Результати визначення абсолютного віку в жильних каїніті (6,14 і 4,43 млн років) та леоніті (3,64 і 2,95 млн років) засвідчують, що процеси перетворення соляних мінералів та кристалізація жильних зумовлені широким розвитком тектонічних порушень. Детально вивчено фізико-хімічні умови мінерогенезу й у інших мінералах – гіпсі, кальциті сірчаних родовищ та ін.

Глинисті мінерали в теригенних і евапоритових комплексах також зазнають структурних і трансформаційних перетворень, які пов'язані зі зміною фізико-хімічних параметрів. Наприклад, в аргілітах з глибиною спочатку зникає монтморилоніт як окрема фаза, а потім зменшується його вміст у змішаношаруватих утвореннях, і вони трансформуються в гідроліти та хлорит.

Дуже детально вивчено серед осадових комплексів Карпат прожилково-вкраплену мінералізацію. Вона представлена, головню, кальцитом у вкраплених зернах і дрібних прожилках серед осадових порід. Жильні утворення і гнізда (до перших десятків сантиметрів у поперечнику) сформовані кальцитом, прозорими кристаликами кварцу типу мармароських “діамантів” і антраксолітом. Кальцит і кварц досліджені мінералогічно й термобарогеохімічно. Особливе значення мають виявлені у складі включень цих мінералів газові та рідкі нафтові вуглеводні. Умови утворення прожилково-вкрапленої і жильної мінералізації визначено на підставі результатів прецизійних досліджень практично всіма наявними термобарогеохімічними методами; водночас вивчено ізотопну природу вуглецю й кисню в карбонатах, воді, CO_2 і CH_4 включень у мінералах. Ці дані мають важливе практичне значення на сучасному етапі в ході розшуків вуглеводнів.

Зокрема, склад газів у включеннях у прожилкових мінералах вивчено в багатьох нафтогазоносних покладах Карпатського регіону. Основним газовим компонентом включень у мінералах прожилків є CH_4 , тоді як у закритих порах вмісної породи – CO_2 та N_2 . Температурний інтервал формування прожилків коливається в межах 110–220 °С.

Особливістю жильної мінералізації з кристаликами кварцу типу мармароських “діамантів” є те, що вони росли з вуглеводневих (метанових) флюїдів за флюїдного тиску 250–300 МПа і температури 230–240 °С чи 80–100 МПа за 210–225 °С. Появу і природу такого надвисокого флюїдного тиску досі остаточно не з'ясовано, особливо причини появи в мінералоутворювальному флюїді метану надвисокої густини (до 0,365 г/см³).

Метаморфічне мінералоутворення мало поширене в Українських Карпатах. У книзі його оцінено за мінералогічними термометрами, експериментальними дослідженнями зі стабільності мінералів, рентгенометричними даними й хімічним складом, результатами визначення температури гомогенізації й декрепітації та ін. Окремо розглянуто контактово-метаморфічне і регіонально-метаморфічне мінералоутворення. Контактково-метаморфічне поширене порівняно обмежено й пов'язане з гранітоїдним, базитовим і ультрабазитовим магматизмом у до- і мезозойських комплексах, а також досить різноманітно виявилось в утворенні різних за складом роговиків у кайнозойських магматичних комплексах. Детальніше проаналізовано регіонально-метаморфічне мінералоутворення, серед якого виділено мінералоутворення та його еволюцію в кристалічному фундаменті з аналізом термодинамічних, фізико-хімічних і фаціальних умов; метаморфічне мінералоутворення в породах палеозойського чохла; роль процесів метаморфізму у формуванні залізо-манганового й колчеданово-поліметалевого зруденіння.

Гіпергенне мінералоутворення в Українських Карпатах надзвичайно поширене і розмаїте, проте, на жаль, не достатньо вивчене. У книзі окремо висвітлено особливості мінералоутворення в корах звітрювання магматичних порід Вигорлат-Гутинського пас-

ма; у зонах окиснення бітумінозних аргілітів менілітової світи Передкарпаття (пов'язане, зокрема, з окисненням органічного вуглецю, участю в хімічних реакціях піриту з утворенням сірчаної кислоти та іншими хімічними реакціями); гіпергенне мінералоутворення в покладах калійно-магнієвих солей, зоні окиснення сірчаних руд і сульфідного телур-бісмутового зруденіння, у карбонатно-силікатних і карбонатних манганових рудах.

У розділі, що присвячений космогенному мінералоутворенню, наведено стислі загальні відомості про космогенні процеси формування мінералів, особливості мінералоутворення в хондрах метеорита *Княгиня* та метеоритних кульках, що впали в Закарпатській обл.

Завершується друга книга розділом про сучасне мінералоутворення, у якому виділено травертиноутворення і техногенне мінералоутворення. Травертиноутворення схарактеризовано як процес, що нині відбувається, головню, у природних порожнинах (печерах) без участі людини. Техногенне мінералоутворення добре виявлене на соляних родовищах Передкарпаття, де є наслідком складних геохімічних та фізико-хімічних процесів у випадку коливання температури повітря в приповерхневій частині хвостосховищ, з одного боку, і в разі витоків ропи за межі дамби хвостосховища, – з іншого. Досить детально проаналізовано відкладання гіпсу в технічному обладнанні на солових рудниках, появу натічних форм вторинного галіту в порожнинах та результати досліджень нерозчинних мінералів (кварц, кальцит, слюди та ін.) у застійних зонах скупчень ропи. Зазначено, що вивчення умов техногенного мінералоутворення необхідне для запобігання екологічним і технічним (вихід з ладу обладнання...) катастрофам. Сучасне мінералоутворення проілюстровано численними світлинами мінералів, що кристалізуються в соляних шахтах, на поверхні хвостосховищ та на витоках із них ропи.

Отже, комплекс виконаних регіонально-мінералогічних досліджень, наведених у рецензованих книгах серії “Мінерали Українських Карпат”, є визначним і вагомим внеском у створення Мінералогічної енциклопедії всієї Карпато-Балканської покривно-складчастої споруди, задуманої видатним ученим сучасності акад. Є. Лазаренком, і, безумовно, заслуговує на високу оцінку не лише фахівців, а й державних органів.

*Стаття: надійшла до редакції 06.02.2017
прийнята до друку 26.04.2017*