

УДК 549 (477)

**В. І. Павлишин, О. М. Платонов, О. Б. Брик, Д. К. Возняк, В. М. Квасниця,
В. О. Курепін, В. С. Мельников, Б. М. Міцюк, В. П. Семененко, А. М. Таращан**

Мінералогія у Національній академії наук України

Статтю присвячено історії розвитку мінералогічних знань в Україні з часу створення у 1918 р. Української Академії наук. Стисло розглядаються основні досягнення вчених НАН України в різних областях цієї важливішої дисципліни з циклу наук про Землю — регіональній та генетичній мінералогії, кристалохімії та фізиці мінералів, кристаломорфології, біомінералогії, експериментальній, космічній та прикладній мінералогії тощо. Підкреслено внесок українських вчених у розвиток світової мінералогічної науки.

Вступ. Мінерали з прадавніх часів і донині являють собою основний ресурс для розвитку цивілізації. Досить сказати, що три чверті матеріалів, які виробляє людство для свого існування та розвитку, — це матеріали, виготовлені з мінеральної сировини. Тому можемо говорити про надзвичайно велике наукове та практичне значення однієї з фундаментальних природничих наук — мінералогії, в якій напрацьовуються, систематизуються і скеровуються у практичне русло знання про мінерали.

До створення Національної академії наук України мінералогічні дослідження на сучасній території України здебільшого здійснювали кафедри мінералогії Харківського, Київського, Новоросійського (нині Одеського) та Львівського університетів, Катеринославського вищого гірничого училища (нині Національний гірничий університет України, м. Дніпропетровськ), а також академічні установи та університети Австро-Угорщини, Польщі та Росії.

Досягнення в галузі кристалографії та хімії мінералів сприяли розвитку регіонально-мінералогічних досліджень в Україні. Перші монографічні або умовно монографічні праці регіонально-

мінералогічного змісту з'явилися наприкінці XVIII — початку XIX ст. Це були різномовні та різновеликі роботи І. Фіхтеля (1791), Б. Гакета (1792), К. Зіпсера (1817), О. Р. Кобецького (1897), Я. В. Самойлова (1906), С. П. Попова (1907), О. Є. Ферсмана (1907), П. А. Двойченка (1914) тощо.

У 1840 р. вперше в Україні виходить у світ підручник з мінералогії завідувача першої кафедри мінералогії Київського Імператорського університету св. Володимира Е. К. Гофмана "Общая ориктогнозия, или Учение о признаках минералов", що тривалий час був основним підручником. Справу Е. К. Гофмана продовжив і примножив К. М. Феофілактов, який керував кафедрою 46 років, заснував і розвинув знамениту Київську школу геологів, Київське товариство природознавців і як ректор зміцнив університет. Початок XX ст. ознаменувався розмаїтими, в тому числі монографічними регіонально-мінералогічними працями Н. Д. Борисяка, П. П. П'ятницького, А. В. Гурова, П. Я. Армашевського, В. І. Лучицького, І. І. Танатара, Р. О. Пренделя, Ф. Циркеля, Ю. Медведського, С. Малковського тощо, помітною увагою до збору та дослідження метеоритів вченими Харківського та Одеського університетів.

© В. І. Павлишин, О. М. Платонов, О. Б. Брик, Д. К. Возняк, В. М. Квасниця, В. О. Курепін, В. С. Мельников, Б. М. Міцюк, В. П. Семененко, А. М. Таращан, 2008

На окрему згадку заслуговує талановитий учень В. І. Вернадського, професор Катеринославського гірничого училища, мінералог Л. Л. Іванов, який започаткував систематичне дослідження мінералів України та зробив першу спробу мінералогічного районування території України. За даними Л. Л. Іванова, перед Другою світовою війною в надрах України було відомо 183 мінерали.

Отже, на університетському етапі розвитку мінералогії закладено перші цеглини в фундамент регіональної мінералогії України, започатковано дослідження в галузі експериментальної, космічної та теоретичної мінералогії.

Організація Української Академії наук, місце мінералогії у її структурах. У листопаді 1918 р. гетьман всієї України Павло Скоропадський підписав Указ про створення Української Академії наук. Цьому високому Указу передувала колосальна підготовча робота Комісії з вироблення законопроекту про заснування УАН, яку очолював В. І. Вернадський. Згадаємо два засадничі документи, в яких накреслено організаційні заходи щодо розвитку мінералогічної науки в Україні (Історія Академії наук України, 1918–1923. Документи і матеріали. – К.: Наук. думка, 1993). У першому з них "Записці В. І. Вернадського до Комісії для вироблення законопроекту про організацію Музею та Інституту мінералогії при УАН" (липень–серпень 1918 р.) зазначається, що одним з найголовніших завдань Українського мінералогічного музею є вивчення мінералів України. При цьому перше завдання Музею сформульовано гранично просто – видання **мінералогії України**.

Цілком інший характер, на думку В. І. Вернадського, повинен мати з'єднаний з Музеєм **Мінералогічний інститут**, "уряджений відповідно до вимог, які ставляться до дослідних фізичних та хімічних інститутів". У "Записці про відділ фізико-математичних наук" (11 вересня 1918 р.) наведено перелік установ, що повинні бути створені при цьому відділенні –

Мінералогічний музей, Мінералогічний інститут, Геологічний та Палеонтологічний музей та одна кафедра "Прикладна геологія й мінералогія".

Як бачимо, вже в першому проекті структури УАН мінералогія посіла важливе високе місце. І хоча задум В. І. Вернадського у повному обсязі не вдалося швидко реалізувати, все ж його мінералогічна концепція істотно вплинула на подальшу долю мінералогії* в Україні, розквіт якої в системі Академії наук України розпочався з 40-х рр. ХХ ст. Тут ми повинні згадати 1949 р., коли вийшла друком книга члена-кореспондента АН УРСР В. С. Соболева "Введение в минералогію силикатов", яка на багато років освітила шляхи розвитку теоретичної та регіональної мінералогії, і не тільки в Україні.

Розвитку мінералогії України сприяли декілька чинників, насамперед, запити практики, праці та активна організаційна діяльність талановитих вчених, перш за все Є. К. Лазаренка, О. С. Поваренних, В. С. Соболева, М. П. Єрмакова, кожен з яких створив школу світового рівня, а також такі організаційні заходи: заснування періодичних видань – "Геологічного журналу" (1934), "Мінералогічного збірника" (1947), "Мінералогічного журналу" (1979), "Записок Українського мінералогічного товариства" (2004); розширення та зміцнення діяльності Інституту геологічних наук (ІГН) АН УРСР (заснований у 1926 р.), створення у 1945 р. його Львівського відділення (нині Інститут геології та геохімії горючих копалин НАН України), створення Інституту мінеральних ресурсів у Симферополі (виник у 1956 р. на базі Кримського філіалу АН УРСР, нині Кримське відділення Українського державного геологорозвідувального інституту); організація в 1945 р. Львівського геологічного товариства і в 1954 р. – Київського відділення Всесоюзного мінералогічного товариства (з 1957 р. – Українське відділення ВМТ, а з 1970 р. – Українське мінералогічне товариство –

*Не випадково, що саме в Україні, майже за вказівкою В. І. Вернадського, стараннями академіка М. П. Семененка був створений вперше в світі Інститут геохімії і фізики мінералів АН УРСР.

УМТ), організація в 1969 р. Інституту геохімії і фізики мінералів (ІГФМ) АН УРСР (з 1993 р. — Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) НАН України). Досить швидко ІГФМ АН УРСР став провідним мінералогічним центром, а з 1972 р. — базовою установою УМТ, яке з 1970 р. відіграло важливу роль у координації мінералогічних досліджень і проведенні нарад з актуальних питань мінералогії.

Як вагомий підсумок можемо констатувати створення у галузі мінералогії в радянську добу трьох нині всесвітньо відомих наукових шкіл України: регіонально-мінералогічної Є. К. Лазаренка, термобарогеохімічної М. П. Єрмакова і кристалохімічної О. С. Поваренних. У 1970-х рр. у кристалохімічній школі поступово виокремилась школа з фізики мінералів (І. В. Матяш, О. М. Платонов, А. М. Таращан). Нижче стисло наводимо досягнення з основних напрямів мінералогічних досліджень за часи розвитку мінералогії в системі Академії наук України.

Регіонально-мінералогічні дослідження.

Видатний мінералог сучасності академік РАН М. П. Юшкін зазначив: *"Український щит, Карпати, Донбас, Крим, тобто вся територія України є найбільш детально вивченим у мінералогічному відношенні районом країни. Топомінералогічні дані по окремих геологічних регіонах України узагальнені в серії вельми ґрунтовних праць, які регулярно видавались під керівництвом Є. К. Лазаренка"* (М. П. Юшкін, 1982).

Під керівництвом Є. К. Лазаренка і за його безпосередньою участю фахівці вивчали мінералогію восьми регіонів України, результати узагальнені в монографіях, які вже стали класичними: "Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині" (1960), "Мінералогія осадочних утворень Прикарпаття" (1962), "Мінералогія Закарпаття" (1963), "Мінералогія Поділля" (1963), "Мінералогія и генезис камерных пегматитов Вольни" (1973), "Мінералогія Донецького басейна" (1975), "Мінералогія Криворожського басейна" (1977), "Мінера-

логія Приазовья" (1981).

У цих працях детальному монографічному опису мінералів, які Євген Костянтинівич об'єднав у розділ "Систематична мінералогія", передує короткий нарис геологічної позиції регіону та характеристика його мінеральних комплексів. Завершуються праці великою генетичною частиною (а деякі з них — і прикладними мінералогічними критеріями, металогенічними узагальненнями), в якій визначається генетична природа мінералів та мінеральних комплексів на сукупній основі геологічних, термобарогеохімічних, онтогенічних, геохімічних та інших даних. Остання монографічна робота закінчується розділом "Типоморфізм мінералів", який містить також відомості прикладного характеру.

Особливу увагу Є. К. Лазаренко приділяв мінералогії гірничорудних районів. Серед останніх, насамперед, відзначимо всесвітньо відомий Криворізький залізорудний басейн, якому він спільно з учнями присвятив фундаментальну працю "Мінералогія Криворожського басейна" (1977). У цій монографії вперше завдяки застосуванню широкого арсеналу сучасних методів і методик наведено результати комплексного дослідження породоутворювальних і рудних мінералів, які дозволили відтворити процеси мінералоутворення в докембрії, виявити специфіку метаморфізму та метасоматичного перетворення залізо-кременистих порід. Встановлені мінеральні парагенезиси та аналіз геологічної історії Криворізького басейну дали підставу для висновку про полігенну природу рудних мінералів, що виникли в умовах осадочного та ефузивно-осадочного нагромадження залізорудної товщі Криворіжжя, а результати детального аналізу процесів мінералоутворення — про формування залізорудної формації шляхом ритмічної седиментації колоїдів заліза та кремнезему в умовах періодичної зміни геохімічних параметрів. На підставі геологічних та мінералого-петрографічних даних розвинута ідея про поступову і закономірну в регіональному плані зміну умов метаморфізму в межах Криворізького

басейну. Всі ці дані, а також завершальна глава "Генетична класифікація мінералів Криворізького басейну" — наукова база для оцінки перспектив залізородних родовищ Криворізького басейну, прогнозування залізних руд на глибину та складання мінералого-технологічних карт родовищ, що розробляються.

Напрямок регіонально-мінералогічних досліджень висвітлює також монографія "Минералогия железородной формации Керченского бассейна" (Ю. Ю. Юрк, Є. Ф. Шнюков, Ю. С. Лебедев та ін., 1960), частково "Петрологія і акцесорні мінерали гранітів та метасоматитів Волині" (Н. А. Безпалько, 1970), "Породообразующие минералы и метаморфизм кристаллического фундамента Украинских Карпат" (Ю. Р. Данилович, 1988), "Суцано-Пержанская зона — геология, минералогия, рудоносность" (С. В. Металіді, С. В. Нечаєв, 1983), "Марганцевые руды Украины" (Є. Ф. Шнюков та ін., 1993), "Скарни України" (С. В. Нечаєв, В. О. Сьомка, 1989). Найвагомим здобутком регіонально-мінералогічних досліджень України кінця ХХ — початку ХХІ ст. є вихід у світ колективного довідника "Мінерали України" (1990), трьох книг "Мінерали Українських Карпат" (1990, 1995, 2003), а також нові результати та підходи до мінералогічного районування території України (О. І. Матковський, В. І. Павлишин, 1998; О. І. Матковський, Є. М. Сливко, 2004). Останні два автори на схематичній карті України виділили дев'ять мінералогічних провінцій: архейських кратонів Українського щита (УЩ); протерозойських рухомих поясів щита; Дніпровську; Донецьку; Волино-Подільську; Причорноморську; Карпатську; Добрудзьку; Кримську.

Мінералого-геохімічний напрям розвитку регіональних досліджень успадковує методичні ідеї О. Є. Ферсмана, які будуються на тріаді "мінерал–елемент–процес". В академічній сфері цей напрям в Україні продуктивно розвивав М. М. Івантишин, насамперед, у книгах "Акцесорні рідкісні мінерали та розсіяні елементи в гранітах і пегматитах Українського щита" (1960) і

"Акцесорні рідкісні мінерали та розсіяні елементи в метаморфічних породах УКЩ" (М. М. Івантишин та ін., 1965).

Напрямок з вивчення окремих мінералів України розмаїто представлений в її Академії наук. Опублікована низка монографій з породоутворювальних мінералів УЩ, в яких різноаспектно висвітлюються питання мінералогії біотитів (І. С. Усенко, І. Б. Щербаков, А. П. Заяц), піроксенів (В. М. Вендиктов, Є. Б. Глеваський, О. М. Голуб та ін.), лужних польових шпатів (І. С. Усенко, Т. А. Рокачук, М. К. Крамаренко, В. І. Орта та ін.), гранатів (І. С. Усенко, Р. Я. Белєвцев, Т. Г. Щербакова та ін.), а також каолінітів (Ю. О. Русько), амфіболів (О. Л. Литвин, Г. В. Легкова та ін.), алмазу (В. М. Квасниця), золота (І. К. Латиш; В. М. Квасниця), сірки та бурштину (Б. І. Сребродольський), міді (збірники "Мідь України", 2002, 2006; за ред. В. О. Шумлянського і Л. В. Шумлянського), кварцу, слюд і польових шпатів (В. І. Павлишин), акцесорних мінералів (Б. Ф. Міцкевич, М. П. Щербак, І. В. Носирєв та ін.), мінералів титан-цирконієвих розсипів (С. М. Цимбал, Ю. О. Полканов), метеоритних кратерів (А. А. Вальтер, Є. П. Гуров та ін.), мінералів олова, вольфраму та молібдену (С. В. Нечаєв, С. Г. Кривдік, В. О. Сьомка) тощо.

Підведемо деякі підсумки, які стосуються стану та перспектив розвитку регіонально-мінералогічних досліджень в Україні.

Бурхливий й плідний етап розвитку припав на 40–80-ті рр. ХХ ст. Опубліковано орієнтовно 9000 праць, в тому числі близько 90 монографій, в яких цілковито або частково висвітлюються проблеми мінералогії України. Це був золотий вік розвитку української мінералогії. Він ознаменувався вагомими результатами вивчення мінералогії окремих родовищ і перспективних рудопроявів, всіх геологічних процесів мінералоутворення, виявлення зв'язку мінералоутворення з процесами рудоутворення, а також з'ясуванням особливостей конституції, морфології, фізичних властивостей, генетичної природи та розподілу в природі окремих мінералів. Попри все

залишається гострою проблема відкриття нових мінералів і створення сучасного монографічного видання з мінералогії України.

На завершення зазначимо ще такий підсумок. Число мінеральних видів, встановлених в Україні, за останні 20 років зросло більше ніж на 300 і нині перевищило 900 видів (В. І. Павлишин та ін., 2007). Крім того, існує обґрунтований резерв нових для України мінералів. Надра України виявились відносно (стосовно земної кори) "недоукомплектованими" ванадатами, арсенатами, фосфатами, боратами, мінералами Sc та низки халькофільних (Zn, Cu, Pb, Hg, Sn, Mo, Ge) і літофільних (Cs, Sr, Ba, Cr, Ti, Mn, Zr) елементів.

Генетична мінералогія в НАН України представлена дослідженнями в нижчевказаних областях.

Онтогенія мінералів. Цей важливий напрям генетичної мінералогії має відносно скромні результати в НАН України, які стосуються обмеженого числа мінералів — кварцу (В. В. Кушеєв, Д. К. Возняк, В. І. Павлишин), польових шпатів (В. С. Мельников), алмазу (В. М. Квасниця), слюд (В. І. Павлишин, В. Ф. Грінченко), акцесорних мінералів (О. М. Пономаренко, А. М. Таращан, Т. М. Лупашко, С. І. Рибалко та ін.), оксидів заліза (В. М. Зінченко) тощо. У працях зазначених авторів висвітлюються окремі питання онтогенезу здебільшого мінеральних індивідів. Масштабніше онтогенія мінералів розглядається в книзі Є. К. Лазаренка "Основы генетической минералогии" (1963). В ній вперше в українській мінералогічній літературі автор використовує як окремий розділ явища мінералогенезису — зародження, ріст, зміна і руйнація мінералів — і цим розширює і посилює власну концепцію генезису мінералів.

1988 р. УМТ видало збірник наукових праць "Онтогенія мінералів і технологічна мінералогія", в якому розглянуто загальні питання теорії та термінології онтогенії мінералів, наведено конкретні приклади результатів дослідження власне генезису мінералів. Цього ж року

В. І. Павлишин, М. П. Юшкін, В. А. Попов опублікували оригінальний труд "Онтогенетический метод в минералогии". Сутністю онтогенетичного методу в мінералогії, зауважують автори, є вивчення структури мінеральних об'єктів, аналіз анатомії мінеральних індивідів і агрегатів та виявлення вікових взаємовідносин між ними з метою встановлення кристалізаційної історії мінеральних агрегатів і мінеральних тіл. Ця загальна методологія, підсилена викладом практичних методик онтогенетичних досліджень анатомії мінералів і просторово-часових відносин поміж ними, отримала високу оцінку рецензентів і широко використовується під час проведення дослідження мінералів.

В. В. Індутний у підсумковій книзі "Планиметрический анализ структур минеральных агрегатов" (1991) напрацював нові ефективні методи кількісного аналізу форм мінеральних індивідів, структур різних агрегатів і гірських порід за допомогою ЕОМ, які дозволяють вирішувати складні проблеми петрології і онтогенії мінералів.

Найбільш повне та ґрунтовне завершення онтогенія мінералів отримала в підручнику-монографії "Генезис мінералів" (2003, друге видання — 2007) В. І. Павлишина, О. І. Матковського, С. О. Довгого. Майже на 250 сторінках цієї книги на сучасному рівні й численних прикладах викладена досконала сучасна концепція онтогенії мінералів та можливості її використання для вирішення проблем мінералогії, підвищення ефективності пошукових і розвідувальних робіт, вдосконалення технологічних процесів переробки мінеральної сировини, а також у навчальному процесі.

Дослідження включень мінералоутворювального середовища (термобарогеохімія). За результатами дослідження флюїдних включень у мінералах отримують найбільш повну і достовірну інформацію про фізико-хімічні параметри мінералоутворювального середовища — температуру, тиск, хімічний склад, густину, динамічну в'язкість та інші параметри флюїдів, що брали участь у формуванні

геологічних об'єктів. Тут і далі термін "флюїд" вживається у значенні будь-якого мінералоутворювального середовища з малою механічною міцністю (газу, рідини, розплаву). Ці дані важливі й для реконструкції умов формування родовищ різних корисних копалин, які можуть використовуватися у геологорозвідувальній практиці. Окрім того, отримана за флюїдними включеннями інформація важлива для встановлення зв'язку між умовами кристалізації мінералу та його властивостями як твердого тіла. Ці обставини зумовлюють підвищений інтерес до таких досліджень у багатьох країнах світу (РФ, США, Швейцарії, Китаї, Франції, Польщі, Італії та ін.), проведення міжнародних нарад, симпозіумів, конференцій за їх результатами.

Вивчення флюїдних включень має тривалу історію, проте різке зростання зацікавленості до включень у світі після Другої світової війни пов'язане з іменем професора М. П. Єрмакова. Він ще у 1948 р. на геологічному факультеті Львівського державного університету ім. Ів. Франка уперше прочитав старшокурсникам "Курс мінералотермометрії (за даними включень у мінералах)" та створив першу спеціалізовану лабораторію дослідження включень у мінералах. Знаковою подією є поява у 1950 р. його монографії "Исследования минералообразующих растворов". В університеті сформувалася група дослідників флюїдних включень, в якій першими були Є. І. Вульчин, Ю. О. Долгов, Є. М. Лазько, В. Ф. Лесняк, В. А. Калюжний, Л. І. Колтун, Н. І. Мязь, А. В. Пізнюр, Р. Ф. Сухорський. Згодом, у 1955 р., В. А. Калюжний переходить на роботу в Інститут геології корисних копалин АН УРСР (з 1964 р. Інститут геології та геохімії горючих копалин (ІГГК АН УРСР)), в якому проводяться систематичні дослідження флюїдних включень. Таким чином, у Львові виникають два осередки (університет і академічний інститут) вивчення включень і місто в подальшому стає всесвітньо відомим науковим центром дослідження включень у мінералах.

Утвердженню нового наукового на-

прямку в Академії наук сприяла та обставина, що члени-кореспонденти АН УРСР В. С. Соболев (з часом акад. АН СРСР) і Є. К. Лазаренко (майбутній акад. АН УРСР) з 1951 по 1961 р. керували відділом, в якому працював В. А. Калюжний. В. С. Соболев і Є. К. Лазаренко були переконаними прихильниками прискореного розвитку науки про флюїдні включення і в подальшому постійно підтримували його. Згодом В. А. Калюжний сам став завідувачем відділу геохімії глибинних флюїдів (сучасна назва), яким керував тривалий час (1961–1988 рр.). Серед перших співробітників відділу були М. Д. Братусь, Д. К. Возняк, Г. М. Гігашвілі, Б. В. Заціха, О. Є. Лазаренко, Ю. В. Ляхов, В. М. Ковалевич, З. І. Ковалишин, О. Й. Петриченко, Й. М. Сворень, О. П. Сливко, В. С. Шайдецька.

В академічному інституті вивчення включень велося за такими головними напрямками: 1 – оцінка герметичності утримання вмісту включень у мінералах (галіт, кварц, топаз) (В. А. Калюжний, 1958); 2 – теоретичне обґрунтування придатності флюїдних включень для відтворення умов їхньої консервації мінералом; 3 – дослідження хімічного складу вмісту включень; 4 – створення термо- і криокамер для визначення температури гомогенізації та інших фазових змін у включеннях; 5 – оцінка відповідності хімічного складу вмісту включень мінералоутворювальному флюїду в момент їхньої консервації кристалом; 6 – використання змін включень, що відбуваються з ними після їхньої консервації, для реконструкції умов мінералоутворення (перенаповнення, розтріскування, зміна форми, вплив γ -опромінення тощо); 7 – відтворення фізико-хімічних умов формування різних геологічних об'єктів (окремих мінералів, порід, родовищ корисних копалин). Слід наголосити, що методи дослідження включень мають свої особливості, оскільки включення мають малий і дуже малий розмір (зазвичай перші соті частки міліметрів).

Поява термокамер, зокрема термокамери конструкції В. А. Калюжного (1958,

1960) з контактним обігрівом пластинок мінералів, дала змогу широкому загальному дослідників визначати температуру гомогенізації включень (T_r) з точністю $\pm (1-2)^\circ\text{C}$ в інтервалі 20–600, інколи до 800 $^\circ\text{C}$.

Фізико-хімічний аналіз гіпотетичної закритої системи показав, що температура і тиск моменту гомогенізації включень можуть бути меншими, дорівнювати або перевищувати дійсні параметри їх консервації (В. А. Калюжний, 1961, 1965). В. А. Калюжний уперше провів такий аналіз на прикладі різних систем (H_2O , $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$, $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) і запропонував різні методи визначення тиску (В. А. Калюжний, О. С. Щириця, 1962; В. А. Калюжний, Д. К. Возняк, 1965). Встановлено, що гетерогенний стан розчинів є звичайним, а не рідкісним явищем природного мінералоутворення. У кристалах кварцу і топазу з пегматитів Волині виявлені нові фазові перетворення у флюїдних включеннях (В. А. Калюжний, 1956). Зафіксоване явище тривалого кипіння у включеннях водних розчинів, густина яких близька до критичної за умови деякого температурного градієнта. Воно має безпосереднє відношення до утворення своєрідних первинних включень, переповнених великою кількістю твердих мінеральних фаз у кристалах топазу з пегматитів Волині.

В. А. Калюжний (1971) уперше впровадив у практику досліджень метод перенаповнення включень, за яким можна встановити відносний час захоплення мінералом флюїдних включень, на що звернув увагу ще у 1956 р. Г. Г. Леммлейн. Значущість методу важко переоцінити. Яскравим підтвердженням цього є відтворення еволюції мінералоутворювальних флюїдів під час становлення заноришових пегматитів Волині (В. А. Калюжний, Д. К. Возняк, 1976, 1977), які є одними з найскладніших геологічних утворень Землі.

О. Й. Петриченко детально вивчає включення в солях, хоча на той час існувало скептичне ставлення стосовно придатності цих легкорозчинних у воді мінералів герметично утримувати вміст включення. У 1973 р.

виходить друком його монографія "Методи дослідження включень у мінералах галогенних порід", в якій вперше доведена придатність цих мінералів для реконструкції умов їхнього формування, запропоновано низку оригінальних методів дослідження включень. Серед них найрезультативнішим став так званий метод ультрамікрохімічного аналізу розчинів індивідуальних включень, розмір яких здебільшого складає близько 40 мкм. Метод виявився високоефективним для реконструкції генези солеродних басейнів різних регіонів світу і віку. Підкреслимо, що хімічний склад розчинів включень, визначений цим способом, відповідає в межах похибки результатам аналізу сучасного методу криоспектроскопії. Розроблені методи привертають увагу мінералогів і геохіміків, які вивчають галогенні породи. Отримано перші вагомні результати: хімічний склад розсолів включень у седиментаційному галіті залежить від віку формування солеродних басейнів. З часом було доведено, що хімічний склад розсолів періодично змінювався від хлоридного (хлор-кальцієвого) до сульфатного, що за складом близький до згущеної до відповідної стадії сучасної океанічної води. Виявилось, що калійні солі сульфатного складу приурочені до евапоритів пермського та неогенового періодів, а хлоридного — до евапоритів усіх інших періодів фанерозою. За концентрацією калію, магнію у розчинах включень у седиментаційному галіті (О. Й. Петриченко, В. С. Шайдецька, В. М. Ковалевич, 1976) можна достатньо достовірно передбачити наявність і тип калійного зруденіння, тобто ще до відкриття родовища визначити мінеральний склад калійних руд.

Поступово О. Й. Петриченко формується нова наукова школа з проблеми фізико-хімічних умов формування галогенних відкладів. З 1984 р. він очолює відділ геохімії осадових товщ нафтогазових провінцій ІГГГК АН УРСР. Налагоджуються творчі контакти і співпраця співробітників відділу із закордонними вченими, зокрема з геологами Польщі, Австрії, Росії, США, Іспанії, Німеччини, Ізраїлю

та Франції. Дві міжнародні конференції з проблем дослідження евапоритів були організовані в інституті.

З переїздом Є. К. Лазаренка до Києва продовжено систематичні дослідження включень у створеному ним у 1969 р. в ІГН АН УРСР відділі регіональної і генетичної мінералогії. До його складу увійшли кращі випускники геологічного факультету Львівського університету — Г. О. Кульчицька, Ю. А. Галабурда та Д. К. Возняк, який уже мав певний досвід дослідження включень у мінералах. У майбутньому вони склали основу спеціалізованої термобарогеохімічної лабораторії відділу. Згодом м. Київ, зокрема ІГМР АН УРСР, куди перейшов 1972 р. відділ Є. К. Лазаренка, стає одним з провідних наукових центрів країни, де успішно розвивається наука про флюїдні включення у мінералах.

На території Українських Карпат вперше виявлено флюїдні вуглеводневі включення (здебільшого рідкі і газові розчини метану) у так званих мармароських діамантах (Д. К. Возняк, В. В. Грицик, В. М. Квасниця, Ю. А. Галабурда, 1973). В подальшому цей типоморфний різновид мінералу, в рості якого брав участь гетерогенний водно-вуглеводневий флюїд (емульсія), стає об'єктом пильної уваги дослідників, оскільки він пов'язаний з формуванням нафтогазових родовищ і проявів. Переважно у відділах геохімії глибинних флюїдів і геохімії осадових товщ нафтогазоносних провінцій ІГГК НАН України отримано важливі дані про хімічний склад, *PT*-параметри міграції, агрегатний стан, еволюцію вуглеводневих флюїдів не лише нафтогазових, але й вугленосних провінцій України (В. А. Калужний, М. Д. Братусь, М. О. Вітик, Д. К. Возняк, Г. М. Гігашвілі, І. В. Дудок, І. М. Зінчук, Є. К. Лазаренко, С. Б. Ломов, І. М. Наумко, В. І. Павлишин, Й. М. Сворень, В. І. Шелухін, R. J. Bodnar, K. Jarmolowicz-Szulz та ін.).

Флюїдні включення відіграли важливу роль у реконструкції генези "стільникового" кварцу — типоморфного мінералу заноришових пегматитів світу. Оскільки ураження кварцу густою сіткою

інверсійних ("стільникових") тріщин відбувалося внаслідок поліморфного переходу високотемпературної модифікації у низькотемпературну з метастабільного стану, тобто з великою швидкістю переходу, на еволюційному етапі становлення пегматитів, то стільниковий кварц можна використовувати як термобарометр (Д. К. Возняк, 2003). Окрім того, можна стверджувати, що адіабатична модель формування заноришових пегматитів не реалізовувалася у природі.

Обґрунтовано два термобарометри, в яких використано флюїдні включення, що зафіксували фазові переходи мінералів: а) плавлення включень самородного золота у кварці (Д. К. Возняк, С. М. Бондаренко, В. О. Сьомка, 2000); б) інверсію β - α -кварцу.

Провідна роль у відтворенні фізико-хімічних параметрів високотермобаричних потоків CO_2 -флюїду, що наклалися на вмісні породи центральних ділянок УЩ, також належить включенням (Д. К. Возняк, В. І. Павлишин, 2001). Вони відзначаються високими значеннями *PT*-параметрів (максимальні значення були не меншими 1100–1200 °C і 820–870 МПа) і надходили з глибини понад 40 км. На Майському золоторудному родовищі Голованівської шовної зони вони зумовили плавлення і розтріскування включень самородного золота у кварці і утворення включень силікатного скла, а на літєвих пегматитах Кіровоградського (Інгуло-Інгулецького) мегаблоку УЩ — плавлення і розтріскування включень піротину і появу у кварці апоскарнових кварцитів літєвого родовища Надія вторинних включень, що законсервували сульфідні, силікатні та карбонатні розплави. Високотермобаричні потоки CO_2 -флюїду як продукти дегазації основної/ультраосновної магми брали участь у формуванні родовищ різних корисних копалин.

Важлива генетична інформація отримана за флюїдними включеннями у цирконі кімберлітового типу — характерного різновиду мінералу, що парагенетичний алмазу кімберлітів. Середовище

його кристалізації відзначається широким діапазоном складу: від безводних сольових розплавів, основу яких складає карбонат, до багатого водою флюїду. Імовірно, цією особливістю хімічного складу флюїду зумовлено входження води (ОН-груп) у верхньомантіїні мінерали (гранат, олівін, циркон). Вищезгадані флюїди відзначаються малою динамічною в'язкістю, високою електропровідністю (сольові розплави є іонними розчинами), залишаються у розплавленому стані за порівняно невисоких значень температури. За цими властивостями вони найліпше відповідають, згідно з геофізичними даними, рідкій фазі астеносферної зони Землі (Д. К. Возняк, В. М. Квасниця, 2005; Д. К. Возняк, В. М. Квасниця, Р. Вірт, 2006).

Становлення родовищ корисних копалин у певних місцях визначається впливом магматичних, літологічних, структурних, тектонічних, вікових та інших факторів. Звичайно, що чим повніші наші знання про генезу родовищ корисних копалин, тим цілеспрямованішими будуть їх прогноз, пошук, розвідка й оцінка. Це твердження стосується і фізико-хімічних умов формування родовищ, установлених за результатами вивчення включень.

На високий рівень розвитку в Україні академічної науки про флюїдні включення у мінералах опосередковано вказує нагородження В. А. Калюжного у числі трьох перших вчених світу у 1993 р. Міжнародною золотою медаллю ім. Г. К. Сорбі, що присуджується вченим за видатні заслуги у вивченні включень.

Типоморфізм мінералів. Нині в рамках цього вчення з'ясовується взаємозв'язок характеристик хімічного складу, кристалічної структури, морфології, анатомії, фізичних властивостей мінералів, а також складу мінеральних асоціацій з параметрами середовища мінералоутворення (перетворення). Мова йде, іншими словами, про пам'ять мінералів на різних етапах їхнього життя. Відповідно до цього уявлення до вчення включено такі поняття (за В. І. Павлишиним, 2007): типоморфізм

мінералів (основне поняття), типоморфний мінерал, типоморфні ознаки (або асоціації) мінералів, типоморфологічний аналіз, принцип спадковості типоморфних ознак.

Українські академічні вчені мають найвагомші здобутки в галузі типоморфізму хімічного складу, кристалічної структури, морфології, включень мінералоутворювального середовища, оптично-активних та парамагнітних центрів і електричних властивостей породоутворювальних, акцесорних та деяких рудних мінералів. Вони віддзеркалені в серії монографічних праць: "Типоморфізм кварца, слюди і полевого шпатов в ендегенних образованиях" (В. І. Павлишин, 1983), "Типоморфізм мікросталлов алмаза" (В. М. Квасниця та ін., 1999); "Полупроводниковые свойства галенитов и пиритов как критерий условий рудообразования" (Г. І. Князев, В. К. Куделя, 1969); "Структурные превращения минералов" (Є. Г. Куковський та ін., 1984). Обґрунтовано типоморфне значення (широке коло мінералів) рентгеноструктурних даних (польові шпати, слюди, кварц, олівіни, амфіболи, піроксени тощо), структур розпаду та гетерогенності (польові шпати), морфології й анатомії (кварц, флюорит, алмаз, циркон, слюди тощо) та інших конституційних характеристик мінералів, що висвітлено в численних працях, зазначених в розділах "Регіональна мінералогія", "Фізика мінералів", "Кристалохімія мінералів", "Термобарогеохімія".

Важливим внеском українських мінералогів у розвиток вчення про типоморфізм мінералів є широкомасштабне використання спектроскопічних методів зондування генетичної пам'яті мінералів на атомно-електронному рівні. В результаті масових детальних досліджень спектроскопічних властивостей мінералів різних хімічних класів з родовищ і проявів різноманітних генетичних типів, перш за все породоутворювальних мінералів, була розроблена загальна концепція спектроскопічно активних центрів (центрів забарвлення і люмінесценції, парамагнітних центрів) як типоморфних ознак та гене-

тичних індикаторів. Наведемо декілька прикладів.

Зокрема, для польових шпатів вперше запропонована найбільш повна систематика спектроскопічно активних центрів та обґрунтована їх роль в якості кристалохімічних і генетичних індикаторів, типоморфних ознак та кореляційних критеріїв. На основі цього розроблено методику прямої оцінки ступеня рудоносності виявлених рудопроявів і окремих зон та ділянок рідкіснометалевих родовищ, зокрема, оцінки ступеня танталоносності рідкіснометалевих пегматитів за величиною співвідношення значень інтенсивності смуг випромінювання центрів Tl^{+}/O_{Al}^{-} , прогнозу оцінки ураноносності альбітітів і берилієвоносності O_{Al}^{-}/Fe^{3+} (А. М. Тарашан, Г. В. Кузнецов, Т. М. Лупашко).

Нові дані про природу люмінесценції акцесорних мінералів (циркон, апатит, флюорит, циртолїт та ін.) з кристалічних порід УЩ дозволили встановити, що варіації центрів випромінювання в них і, відповідно, типи спектрів рентгено-, фотолюмінесценції і кривих термовисвітлювання визначаються термодинамічним режимом і хімізмом середовища на різних стадіях процесів мінералоутворення, а також дифузними постгенетичними змінами мікроструктури кристалів. Показано, що люмінесцентні характеристики акцесорних мінералів вельми чутливі до зміни домішкового складу рідкісноземельних елементів та власних структурних дефектів і є ефективними типоморфними критеріями.

На підставі комплексного дослідження люмінесценції салічних мінералів, що співіснують, з докембрійських гранітоїдів Українського, Балтійського і Алданського щитів, Білоруського масиву і деяких інших геологічних регіонів, а також результатів аналізу розподілу центрів Fe^{3+} у структурі лужних польових шпатів, що співіснують, плагіоклазів і кварцу показано, що люмінесцентні характеристики цих мінералів є індикаторами умов утворення гранітоїдів і, в першу чергу, чіткими типоморфними ознаками докембрійських гранулітів. Вивчено

рентгенолюмінесценцію висококальцієвих плагіоклазів мафіт-ультрамафітових комплексів УЩ та базит-гіпербазитових плутонів складчастих областей і встановлено залежність рентгенолюмінесцентних характеристик плагіоклазів від глибинності масивів (Т. А. Рокачук та ін.).

З розробкою інструментальних (колориметричних) методів оцінки й опису забарвлення мінералів (М. М. Таран, С. С. Мацюк, В. М. Хоменко, О. М. Платонов) ця важлива властивість останніх набула типоморфного значення і може бути застосована для порівняльного аналізу однойменних мінералів різного складу та походження. Наприклад, у результаті масового спектроскопічного та колориметричного вивчення породоутворювальних гранатів, олівінів, піроксенів та дистенів із глибинних ксенолітів і кімберлітового "цементу" в численних кімберлітових трубках Сибірської та Африканської платформ встановлено чіткий зв'язок того або іншого колірної різновиду цих мінералів, забарвлених певною комбінацією хромофорних центрів, з певним глибинним парагенезисом — мантієюною породою (С. С. Мацюк, О. М. Платонов, В. М. Хоменко, 1985). Це дозволило використовувати колориметричні характеристики мінералів як критерії ідентифікації глибинних парагенезисів, у тому числі алмаз-піропвої фації глибинності. Колориметричні дослідження рогових обманок з гранітів й метаморфітів докембрійських щитів показали, що рогові обманки з порід різних фацій метаморфізму надійно розпізнаються за значеннями колірних параметрів, обумовлених відносним вмістом в них хромофорних центрів — пар $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ і $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ (М. О. Литвин, О. М. Платонов, В. М. Хоменко). Додамо, що аналогічні дослідження виконано для біотитів з різнофаціальних метапелітів УЩ, а також піроксенів з порід різних генетичних типів (В. М. Хоменко).

Радіоспектроскопічні дослідження польових шпатів з гранітів, генетично пов'язаних з камерними пегматитами, дали змогу виявити присутність в калієвих польових шпатах аміачних

центрів NH_3^+ , концентрація яких залежить від ступеня метасоматичного перетворення порід та закономірно змінюється внаслідок переходу від неповно до повно диференційованих пегматитових тіл, тобто є індикатором наявності камерних пегматитів у гранітних масивах УЩ. На численних прикладах показано, що чим вищий середній вміст в польових шпатах центрів NH_3^+ і менша величина співвідношення K/NH_3^+ , тим перспективніший пегматит на кристалооптичну сировину (І. В. Матяш, М. М. Багмут).

Кристалохімія мінералів. Перший президент Української Академії наук академік В. І. Вернадський розрізняв кристалографію "фізичну" і "хімічну". Але, якщо фізичний напрямок в кристалографії був розвинутий ще до відкриття рентгенівської дифракції на базі 32 точкових груп симетрії, то хімія мінералів не мала фундаментального кристалографічного ґрунту. Лише запровадження рентгеноструктурного аналізу кристалів, який "матеріалізував" просторові групи, наповнюючи їх атомами конкретних хімічних елементів, народило сучасну кристалохімію. Зауважимо, що з самого початку це була власне кристалохімія мінералів: першими об'єктами рентгеноструктурних розшифровок, здійснених кембріджською школою Бреггів, були саме кристали мінералів.

Класифікація мінералів на кристалохімічній основі була революційним імпульсом, який перетворив описову мінералогію початку ХХ ст. на сучасну точну науку. Виникла можливість інтерпретації хімічного складу мінералу на рівні тривимірного розміщення аніонів і катіонів. Треба відзначити, що кристалохімія мінералів розвивалась не тільки за рахунок нових розшифрованих структур, але, в першу чергу, за результатами дослідження мінералів сучасними аналітичними методами.

У становленні сучасної мінералогії і кристалохімії взагалі й в Україні зокрема надзвичайну роль зіграло видання у 1949 р. монографії професора Львівського університету члена-кореспондента АН

УРСР В. С. Соболева "Введение в минералогію силикатов" У цій видатній праці детально розглянуті не тільки такі важливі аспекти кристалохімії, як ізоморфізм і поліморфізм, але, що найважливіше, висвітлений зв'язок фізичних (забарвлення, твердість, густина та ін.), фізико-хімічних (температура плавлення) і морфологічних (габітус, двійники, епітаксія) характеристик мінералів з їх атомною структурою. Важливим внеском в мінералогію стала запропонована В. С. Соболевим схема перерахунку хімічного аналізу мінералів на кристалохімічну формулу. Це дозволило мінералогам перетворювати малоінформативну суму оксидів на коректну структурно-хімічну характеристику мінералу. Важко переоцінити вагомість цього методу у дослідженні, наприклад, гетеровалентного ізоморфізму. Майже через рік по виданні монографії "Введение в минералогію силикатов" Мінералогічний збірник Львівського університету почав друкувати цикл статей академіка М. В. Белова під загальною назвою "Очерки по структурной минералогіи". Ці роботи мали величезний вплив на розвиток кристалохімії в цілому і, зокрема, сприяли впровадженню кристалохімічної "ідеології" у рутинні мінералогічні дослідження.

Тема зв'язку властивостей кристалів з їхньою структурою була розвинута відомим мінералогом і кристалохіміком академіком АН УРСР О. С. Поваренних. Найвідомішим прикладом фундаментальних розробок стала його монографія "Твердость минералов" (1963). Продовжуючи напрямок, закладений роботами В. М. Гольдшміда та О. Є. Ферсмана, вчений дослідив вплив всіх кристалохімічних чинників на твердість і вивів основне рівняння цієї важливої фізичної властивості кристалів. Окрім цих результатів, у монографії наведені головні приклади використання рівняння твердості для вирішення теоретичних (структурних) і прикладних задач, пов'язаних з уточненням існуючої шкали твердості Мооса і синтезом надтвердих речовин для технічних потреб.

Найважливішою працею О. С. Пова-

ренних, безумовно, вважається "Кристаллохимическая классификация минеральных видов", яка вийшла у Києві в 1966 р. і незабаром була перекладена англійською мовою. Значна частина монографії є вступом до кристалохімії мінералів. У ньому розглянуті головні чинники, які визначають структуру мінералів, ізоморфізм і принципи кристалохімічної класифікації мінералів. Чіткість і коректність визначень базових питань мінералогії і кристалохімії (таксономічних одиниць, понять мінерального виду, структурного типу, мотиву тощо) суттєво відрізняють цю працю від подібних за ідеєю видань того часу. Власне описова кристалохімічна частина монографії базується на останніх розшифровках структури мінералів. У випадку, коли структура невідома, для визначення місця мінералу у кристалохімічній класифікації О. С. Поваренних використовує не тільки кристалграфічні аналоги, але весь комплекс характеристик — хімічний склад, габітус, твердість тощо. Тому, окрім структурних характеристик мінералів (просторової групи, параметрів елементарної комірки, довжини міжатомних відстаней і стислого опису структури), в цьому розділі наведені фізичні (густина, твердість) і хімічні (варіація складу, ізоморфні домішки) властивості мінералів.

Важливу роль у розвитку кристалохімії та фізики мінералів відіграв щорічний науковий збірник "Конституция и свойства минералов", що виходив за редакцією О. С. Поваренних з 1967 р.

У відділі мінералогії, який з 1960 р. О. С. Поваренних очолював в Інституті геологічних наук АН УРСР, було організовано лабораторію рентгенівського аналізу (О. Л. Литвин, А. А. Петруніна, Л. М. Єгорова, пізніше В. Є. Тепікін), де з 1965 р., за підтримки академіка М. В. Белова, застосовуються монокристалні методи рентгеноструктурного аналізу. Заснування у 1969 р. Інституту геохімії і фізики мінералів АН УРСР (ІГФМ) активізувало розвиток рентгеноструктурного аналізу в Україні. Того ж року О. С. Поваренних створює в Інституті

відділ кристалохімії і мінералогії, а у 1974 р. — лабораторію рентгеноструктурного аналізу, яку очолив О. Л. Литвин.

Перші роботи з розшифровки структури мінералів з'явилися вже в 1969 р.: А. А. Петруніною визначено структуру стефаніту, а у 1971 р. А. А. Петруніна з співавторами розшифрувала структуру тинакситу. Пізніше були визначені структури усовіту (О. Л. Литвин, А. А. Петруніна) та марганцевого ньюбергіту (О. Л. Литвин, С. С. Остапенко), а разом з Л. І. Горогоцькою розшифрована структура галій-германієвого аналогу *x*-андалузиту. Особливу увагу лабораторія приділяла породоутворювальним мінералам: за період 1971–1991 рр. група О. Л. Литвина уточнила структури багатьох амфіболів, олівінів, слюд. Узагальнені результати по амфіболах викладені в монографії О. Л. Литвина "Кристаллохимия и структурный типоморфизм амфиболов" (1977). Дослідження політипізму слюд УЩ проводилось В. Є. Тепікіним і В. І. Павлишиним. Отримані результати пов'язувались з умовами кристалізації слюди, що дозволило виявити важливі генетичні закономірності у поширенні політипів.

Дослідженнями Є. Г. Куковського зі співробітниками встановлено, що структурні перетворення силікатів і алюмосилікатів зумовлені високим градієнтом концентрацій структуроутворювальних катіонів на межі мінерал — вода, які викликають їх безактиваційний дрейф з поверхні розділу твердої фази в конвективний потік та термічно активовану дифузію із порових вод у тверду фазу в умовах гіпергенезу. Експериментально підтверджено інконгруентний характер розчинення породоутворювальних мінералів і кристалохімічно обґрунтовано моделі механізму їх перетворень. Підсумки цих піонерських досліджень викладені у відомих монографіях "Превращение слоистых силикатов" (Є. Г. Куковський, 1973) та "Структурные превращения минералов" (Є. Г. Куковський, М. П. Мовчан, Г. Б. Островська та ін., 1984).

З переходом академіка Є. К. Лазаренка

в ІГФМ продовжуються дослідження з кристалохімії шаруватих силікатів, польових шпатів, кварцу, результати яких висвітлювались у новоствореному "Мінералогическом журнале". Комплексне дослідження мікроізоμοфізму у кварці за допомогою методів рентгенівського аналізу, інфрачервоної спектроскопії і електронного парамагнітного резонансу виявило важливі генетичні аспекти цього явища (В. І. Павлишин, В. С. Мельников та ін.). Структурні дослідження лужних польових шпатів (ЛПШ) з застосуванням порошкової і монокристалльної дифрактометрії проводяться протягом багатьох років у відділі регіональної і генетичної мінералогії. Удосконалювались і розроблялись нові монокристалні методи: визначення орієнтації пертитів, ступеня їх когерентності і характеристик двійникової структури. У 1991 р. розроблено нову методику визначення структурного стану лужних польових шпатів, яка враховувала найновіші результати уточнення їх структури (В. С. Мельников та ін., 1991). На її основі для автоматичного рентгенівського дифрактометра створена комплексна програма обчислення параметрів елементарної комірки і Al/Si-розподілу в тетраедричних позиціях структури, визначення фазового та ізоморфного складу ЛПШ. Цей методичний комплекс був успішно застосований у регіональних мінералогічних дослідженнях, зокрема, для картування інтрузивних комплексів Західного Приазов'я. Мінералогічне картування за структурно-хімічними параметрами ЛПШ виявилось ефективним методом розчленування проблематичних гранітоїдних комплексів.

На базі коректних розшифровок структури ЛПШ був визначений термодинамічно врівноважений тренд впорядкування триклинних ЛПШ (В. С. Мельников та ін., 1991). Показано, що численні відхилення від рівноважного тренду пов'язані з криптодвійниковою будовою ЛПШ. На базі великого аналітичного матеріалу доведено, що їх моноклінна симетрія у більшості випадків є наслідком двійникування на

субмікроскопічній шкалі, що спростовує поширене уявлення ніби моноклінна симетрія ортоклазу є результатом неупорядкованості структури. Відповідно до нової інтерпретації рентгенівська триклинність ЛПШ є функцією не тільки впорядкованості алюмінію і кремнію, але і розміру двійникових доменів.

Тема генезису і трансформації інверсійної двійникової структури мінералів (ортоклаз, анортоклаз, тридиміт) активно розвивається протягом останніх семи років. В циклі публікацій В. С. Мельникова показано, що двійникова структура ЛПШ не є сталою конфігурацією двійникових доменів. З моменту її утворення під час інверсії вона постійно змінюється (еволюціонує) в напрямку утворення монодоменного кристала. Встановлено, що перетворення субмікроскопічної твід-структури ортоклазу відбувається за механізмом деформаційних хвиль, які проявляються в утворенні так званої шахової структури (В. С. Мельников, 2005). Важливим чинником еволюції двійників ЛПШ є наявність протонів у флюїді, що їх оточує.

З відкриттям високотемпературної надпровідності (ВТНП) в лабораторії кристалохімії і структурного аналізу (відділ регіональної і генетичної мінералогії) з кінця 1980-х рр. починається дослідження структури і фазового складу перовськітоподібних сполук. Ефективність методів структурної мінералогії у дослідженні надпровідників спричинена тим, що у мінералогів був солідний досвід роботи з кристалами багатоконпонентного складу і низької симетрії, структура яких ускладнена двійниками, процесом впорядкування, дефектами. Деякою мірою мало значення і те, що майже всім ВТНП сполукам властиві структури або її елементи, похідні від структур добре вивчених мінералів — перовськіту, браунмілериту, галіту. Зв'язок структури деяких мінералів і структури надпровідникових оксидів детально розглянутий в роботі В. С. Мельникова і В. І. Павлишина (2004).

Рентгенодифракційний аналіз виявився важливим інструментом аналітичного супроводження керамічного синтезу ви-

сокотемпературних надпровідників. Важливу роль у структурному дослідженні полікристалічних надпровідників зіграло застосування дифракції електронів (мікродифракції). Вперше цей метод впроваджено під час дослідження сполук $(La, Ba)CuO_4$ і $YBa_2Cu_3O_7$ (В. С. Мельников та ін., 1987). За період 1987–1996 рр. група у складі В. С. Мельникова, Н. П. Пшенцової, Г. Г. Гридневої, Н. В. Данько разом зі вченими Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова і Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України дослідила залежність критичних параметрів надпровідника від кристалохімічних особливостей (симетрії, катіонних заміщень, кисневої нестехіометрії) майже для всіх відомих на той час металокерамічних матеріалів з перовськітоподібною структурою. Дослідження кисневої нестехіометрії фази $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ і відкриття ефекту розупорядкування кисню, який не впливав на надкритичний стан фази, мали важливе теоретичне і практичне значення (В. Г. Бар'яхтар, В. С. Мельников та ін., 1988). Це поставило під сумнів значення мідь-кисневих ланцюжків у виникненні надпровідності.

Ефективність кристалохімічних методів для вирішення петрологічних проблем доведено результатами дослідження породоутворювальних мінералів Азовської розширеної інтрузії (Східне Приазов'я), з сієнітами якої пов'язане Азовське цирконій-рідкісноземельне родовище. За фазовим складом ЛПШ не тільки була скорегована петрографічна схема розподілу сієнітів, але визначений генетичний тип інтрузії. Кристалохімічні тренди зміни складу амфіболу і олівіну дозволили визначити ступінь диференціації інтрузії і запропонувати генетичну модель Азовського родовища (В. С. Мельников). Комплексне дослідження бритоліту — головного рудного мінералу Азовського родовища, виявило його гетерогенну будову, яка виникла в процесі метаміктизації і метасоматозу (В. С. Мельников, О. Є. Гречановська та ін.). Встановлено, що заміщення бритоліту бастнезитом і монацитом супроводжувалось не

тільки загальним збагаченням псевдоморфози рідкісноземельними елементами, але й перерозподілом лантанідів та ітрію між новоутвореними фазами. Ці результати мають певне технологічне застосування.

Важливе значення для розвитку нанотехнологій мали роботи М. Я. Гамарника (1982–1991), в яких експериментально показано, що природа зміни параметрів кристалічної ґратки наночастинок закладена в енергетичному стані їх приповерхневого шару. Показано, що зміна параметрів кристалічної ґратки наночастинок визначається законом Гукка, де роль зовнішнього тиску відіграє внутрішньокристалічний тиск.

Нещодавно отримані нові дані з кристалохімії телуридів вісмуту з Закарпаття (В. С. Мельников). Виявлено, що нестехіометрія цумоїту і пільзеніту є наслідком змішано-шаруватої структури. Розроблено схему, яка представляє структуру шаруватих телуридів вісмуту у вигляді впорядкованої послідовності шарів вісмуту (Bi_2) і телуровісмутину (Bi_2Te_3). Зараз проводиться дослідження закарпатських телуридів вісмуту з метою обґрунтування виділення нових мінералів у природній системі $Bi - Te - Se - S$. Ізоморфні заміщення в телуридах вісмуту в позиціях Bi також дозволяють очікувати на знахідку нових фаз (принаймні для України).

Додамо, що значний об'єм унікальної кристалохімічної інформації для багатьох мінералів різних класів був отриманий з використанням спектроскопічних методів (див. наступний розділ). Зокрема, були отримані принципово нові дані щодо валентного стану й структурного положення атомів у кристалічних ґратках мінералів, реальних розмірів і локальної симетрії координаційних поліедрів, стану хімічного зв'язку метал—ліганди, ступеня й характеру міжіонної взаємодії, утворення структурних і домішкових зарядових дефектів тощо. Ця інформація має суттєве значення для розуміння процесів ізоморфізму в реальних кристалах, особливостей процесів утворення та еволюції мінеральної речовини у просторі й часі. Спектри поглинання іонів

перехідних металів у мінералах, виміряні за різних значень температури й тиску (М. М. Таран), дають можливість кількісно оцінити локальні коефіцієнти термічного розширення і модулі стискування $3d^N$ -іонвмісних координаційних поліедрів — характеристики, дуже важливі для прогнозування властивостей мінералів і гірських порід в умовах земних глибин.

Фізика мінералів. "Фізика мінералів включає фундаментальні розділи розуміння природної речовини, починаючи з будови атома і його поведінки у геохімічних процесах, атомної та електронної будови мінералів, властивостей мінералів з їх генетичним, геофізичним і технічним значенням, механізму явищ і реакцій під час утворення та перетворення мінералів", — так сформулював А. С. Марфунін (1965) сенс цієї міждисциплінарної науки, що знаходиться на межі мінералогії, геохімії і петрографії з фізикою твердого тіла. Доля розпорядилася так, що фізика мінералів офіційно отримала права громадянства в Академії наук України, в системі якої в 1969 р. був організований Інститут геохімії і фізики мінералів (ІГФМ)**. На момент створення ІГФМ українська мінералогічна наука мала в своєму активі досягнення світового рівня в області дослідження конституції і властивостей мінеральної речовини, в її надрах формувалися нові підходи до пізнання природи мінералів (В. С. Соколов, О. С. Поваренних). Однак пальма першості в становленні та розвитку фізики мінералів в Україні беззаперечно належить організатору і першому директору ІГФМ академіку М. П. Семенову. В складі Сектору геохімії, мінералогії, петрографії та корисних копалин Інституту геологічних наук, який він очолював, вже в 1960-х рр. почали розгортатися масштабні дослідження в області рентгеноструктурного аналізу (О. С. Поваренних, О. Л. Литвин, Є. Г. Куковський), радіоспектроскопії (І. В. Матяш, Є. Г. Куковський), експериментальної мінералогії (О. С. Бережний, Ю. П. Мельник); тематика Сектору

доповнилася дослідженнями з оптичної спектроскопії і люмінесценції мінералів (О. С. Поваренних, О. М. Платонов, А. М. Таращан), рентгенівської спектроскопії силікатів (О. П. Шаркін), електрофізичних властивостей мінералів (В. К. Куделя, Г. І. Князев).

Створення в Україні академічної установи, що спеціалізувалася в області фізики мінералів, стало визнанням, тоді ще на всесоюзному рівні, істотного внеску українських вчених-мінералогів у торжество ідей і уявлень "кристалохімічного" етапу розвитку мінералогії. Насмілимося припустити, що створення ІГФМ у Києві відіграло певну роль у світовому визнанні фізики мінералів як міждисциплінарної науки. 1974 р. у резолюції ІХ загальних зборів Міжнародної мінералогічної асоціації (Берлін — Регенсбург, Німеччина) було запропоновано підтримати наукові дослідження, які проводяться на межі фізики і мінералогії, шляхом організації міжнародних симпозіумів та видання спеціалізованого міжнародного наукового журналу "Physics and Chemistry of Minerals", перший номер якого вийшов у 1977 р. у видавництві Springer Verlag.

На початковому етапі свого існування (1970-ті рр.) зусилля ІГФМ концентрувались на розвитку методичного апарату фізики мінералів, що об'єднує резонансні методи (месбауерівська спектроскопія, ядерний магнітний, електронний парамагнітний, протонний магнітний, подвійний електронно-ядерний резонанс), оптичну та інфрачервону спектроскопію, люмінесценцію, тобто — спектроскопію мінералів. Розвиток згаданих вище методів у стінах однієї установи обумовив перспективи для кожного з них завдяки можливості комплексування для вивчення різних об'єктів, а також всебічного аналізу отриманих результатів. Цю обставину також можна вважати одним з наріжних каменів досягнень фізики мінералів в Україні. На першому етапі тривала, у першу чергу, інтерпретація експериментального матеріалу — спектрів оптичного

**З 1993 р. — Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) НАН України, з 2007 р. носить ім'я засновника і першого директора академіка М. П. Семененка.

поглинання, люмінесценції, ЯГР, ЕПР, ЯМР та ін. — з кристалохімічних позицій на основі сучасних теорій твердого тіла, що дало можливість вирішувати і зворотню задачу — з'ясувати кристалохімічну інформативність спектроскопічних параметрів мінералів. Такий підхід виявився досить плідним для розуміння природи спектроскопічних властивостей і тонких конституційних особливостей мінералів, уточнення механізмів ізоморфних заміщень, катіонного впорядкування, характеру впливу радіаційних і термічних полів на структуру і властивості природних мінералів тощо.

Тоді ж у ІГФМ були виконані фундаментальні узагальнення в області оптичної спектроскопії та люмінесценції мінералів, представлені монографіями О. М. Платонова "Природа окраски мінералів" (1976) і А. М. Таращана "Люмінесценція мінералів" (1978). Ці праці, що й досі не мають аналогів у світовій мінералогічній літературі, визначили пріоритет українських вчених у дослідженні природи найважливіших діагностичних і типоморфних властивостей природних кристалів. Детальні дослідження в області оптичної спектроскопії та люмінесценції, результати яких викладені в численних публікаціях, виконувалися в цей період і для окремих груп мінералів із залученням систематизованих колекцій зразків із родовищ різних генетичних типів — польових шпатів (А. М. Таращан, Т. А. Рокачук), берилів та інших дорогоцінних та напівдорогоцінних каменів (М. М. Таран, О. М. Платонов), кварцу (А. І. Серебреников), апатиту (Г. В. Кузнецов, А. М. Таращан), гранатів (С. С. Мацюк, О. М. Платонов), флюориту (О. А. Красильщикова, А. М. Таращан, О. М. Платонов), мінералів урану (А. О. Матковський). Ці дослідження, метою яких було всебічно оцінити кристалохімічну і генетичну інформативність забарвлення та люмінесценції мінералів, стали основою для формування перспективної наукової програми "Спектроскопія породоутворюю-

вальних мінералів і її прикладні аспекти".

Під керівництвом О. С. Поваренних розгортаються роботи зі створення атласу інфрачервоних спектрів мінералів з їх кристалохімічною інтерпретацією, до якого, на думку вченого, мали увійти практично всі відомі на той час мінеральні види. *** Водночас тривало детальне вивчення різних типів воднево-кисневих угруповань у мінералах (С. В. Геворк'ян, О. С. Поваренних).

Підсумком плідної праці в області радіоспектроскопії за цей період стали колективні монографії І. В. Матяша, А. М. Калініченка, А. С. Литовченка, Е. В. Польшина, В. П. Іваницького, М. М. Багмута і В. Я. Прошка "Особенности кристаллохимии слоистых силикатов по данным радиоспектроскопии" (1973), "Радиоспектроскопия слюд и амфиболов" (1980), "Радиоспектроскопия полевых шпатов" (1981), які стали вагомим внеском у подальший розвиток фізики мінералів і пропаганду величезних можливостей її підходів й методів у загальному прогресі сучасної мінералогії.

Суттєві досягнення "кристалохімічного етапу" дали змогу виробити загальну ідеологію фізико-мінералогічних досліджень в Україні, уточнити мету і задачі подальшого їх розвитку, пов'язаного з вирішенням проблем генетичної та прикладної мінералогії. Зазначимо, що цей шлях виявився не тільки логічним наслідком фундаментальних розробок, він був продиктований задачами і потребами країни, зокрема розгортанням пошукових робіт на алмази, рідкісні та благородні метали, ревізією геолого-зйомочних робіт на УЩ тощо. Вже у 1980-х рр. в ІГФМ здійснюється масове і систематичне спектроскопічне дослідження мінералів, перш за все породоутворювальних — польових шпатів, кварцу, піроксенів, амфіболів, слюд, гранатів, олівінів і т. п., внаслідок чого відбулося "залучення" спектроскопії до широкої геологічної проблематики, де теоретичні і прикладні задачі виявилися тісно пов'язаними між собою.

***Ця практично завершена в 1986 р. унікальна праця, що, без сумніву, склала б славу українській мінералогії, на жаль, залишилася невиданою через суб'єктивні причини.

Оптико-спектроскопічні дослідження цього етапу спрямовуються головним чином на виявлення та обґрунтування типоморфного і пошукового значення забарвлення мінералів, для чого були розроблені об'єктивні інструментальні методи його виміру. Плодотворність такого підходу підтверджена дослідженнями мінералів із ксенолітів мантійних порід (гранатів, піроксенів, олівіну, шпінелідів, дистену та ін.) в кимберлітових трубках Сибірської і Африканської платформ, внаслідок яких були встановлені типоморфні ознаки забарвлення цих мінералів з різних глибинних парагенезисів, у тому числі алмаз-піропової фації глибинності, і на цій основі напрацьовано нові прогностичні і пошуково-оціночні критерії на алмази. Ці розробки знайшли відображення в монографіях С. С. Мацюка, О. М. Платонова, В. М. Хоменка "Оптические спектры и окраска мантийных минералов в кимберлитах" (1985) та С. С. Мацюка, О. М. Платонова, Е. В. Польшина та ін. "Шпинелиды мантийных пород" (1989). Додамо, що оптико-спектроскопічна методика оцінки генетичної належності гранатів була широко використана для масового дослідження цих мінералів з розсипищ України в рамках вивчення проблеми алмазоносності УЩ.

Тоді ж видана серія фундаментальних узагальнень з оптичної спектроскопії породоутворювальних темноколірних мінералів, до яких належать монографії В. М. Хоменка і О. М. Платонова про піроксени (1987) та М. О. Литвин, О. М. Платонова і В. М. Хоменка про амфіболи (1992). У них показано, зокрема, що спектроскопічні і колориметричні параметри таких мінералів можуть бути успішно використані для оцінки генетичних особливостей вмисних порід, а також у геотермометрії, з метою картування метаморфічних комплексів, дистанційній діагностиці мінералів і гірських порід тощо.

Дослідження люмінесцентних властивостей були спрямовані на вивчення породоутворювальних, рудовмісних та рудосупутніх мінералів. Підсумки цих копітких систематичних досліджень ро-

довищ корисних копалин, які не мають аналогів у світовій практиці, знайшли відображення у монографіях Г. В. Кузнєцова і А. М. Тарашана "Люминесценция минералов гранитных пегматитов" (1988), О. А. Красильщиковой, А. М. Тарашана, О. М. Платонова "Окраска и люминесценция природного флюорита" (1986) і серії статей, присвячених закономірностям еволюції структурно-хімічного стану мінералів у ході утворення рідкіснометалевих пегматитів та метасоматитів, виявленню ефективних критеріїв пошуку й оцінки цих типів рудних родовищ. Широкого розвитку набули дослідження люмінесценції польових шпатів з магматичних і метаморфічних порід древніх щитів та складчастих областей. На великому матеріалі простежено основні закономірності зміни люмінесцентних характеристик польових шпатів, дана петрологічна інтерпретація та показана можливість їх використання для генетичної кореляції і мінералогічного картування (Т. А. Рокачук "Петрологические аспекты люминесценции полевых шпатов", 1988).

За допомогою методу інфрачервоної спектроскопії вивчено марганцеві руди деяких родовищ та рудопроявів і показано високу ефективність методу для діагностики тонкодисперсних, поліфазних і слабозокристалізованих мінералів марганцю, що має важливе значення для розробки раціональних способів збагачення і використання цих руд (С. В. Геворк'ян, В. С. Ляшенко, Е. А. Янчук, 1987).

Методом месбауерівської (ЯГР) спектроскопії (Е. В. Польшин, В. П. Іваницький, П. В. Лапшук) проведено вивчення хімічного стану атомів заліза в багатьох мінералах, у тому числі породоутворювальних силікатах, що дозволило внести істотні корективи до моделей конституції останніх та запропонувати використання особливостей їх складу для вирішення деяких петрогенетичних проблем. У 1987 р. за результатами радіоспектроскопічного дослідження кварцу — одного з головних породоутворювальних мінералів з унікальними технічними властивостями, опублікована монографія І. В. Матяша,

О. Б. Брика, А. П. Заяц, В. В. Мазикіна "Радиоспектроскопія кварца". У ній вперше описано явище гігантського збільшення намагнічення парамагнетика електричним полем, розглянуті процеси утворення й перетворення індивідів кварцу, зокрема у зв'язку з питаннями генезису самородного срібла і золота, а також геохронології та класифікації геологічних об'єктів за даними ЕПР-вивчення кварцу.

Одержані завдяки детальному вивченню мінералів за допомогою радіоспектроскопічних методів дані заклали фундамент узагальнень щодо особливої ролі кисню в еволюції верхніх оболонок Землі (І. В. Матяш, О. Д. Ішутіна).

З перших років незалежності України почало налагоджуватися міжнародне наукове співробітництво ІГФМ по лінії двосторонніх наукових програм, проектів *INTAS*, *NSF*, Європейської комісії при ЄС тощо. Зокрема, численні проекти в області оптичної спектроскопії мінералів виконувались у тісній співдружності з вченими університетів і наукових центрів Німеччини, Польщі, США, Австрії, Франції. Відділ радіоспектроскопії мінеральної речовини активно долучився до виконання проектів по лінії МАГАТЕ, пов'язаних з проблемами ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи. В рамках проектів *INTAS* дослідження проводилися спільно з вченими Іспанії, Нідерландів та Білорусі. Співробітництво в області ретроспективної дозиметрії з колегами із Університету штату Юта (США) сприяло активному розвитку цього актуального для України наукового напрямку. Тісні наукові контакти українських вчених із зарубіжними колегами мали велике значення, перш за все, для міжнародного визнання досягнень української науки, залучення її до світового науково-технічного прогресу, зробили внесок у рух України до об'єднаної Європи. Вченими тепер уже ІГМР ім. М. П. Семененка, що працюють в області фізики мінералів, опубліковані численні статті в провідних зарубіжних наукових журналах — "Physics and Chemistry of Minerals", "European Journal of Mineralogy",

"Zeitschrift fur Kristallographie", "American Mineralogist", "Contribution to Mineralogy and Petrology" тощо. Вони брали участь у багатьох наукових з'їздах, конференціях та симпозіумах найвищого рівня. Визнанням заслуг українських вчених у галузі фізики мінералів стало проведення в м. Київ у 1996 р. III Європейської конференції "Використання спектроскопічних методів в мінералогії".

Плідна міжнародна співпраця й нові апаратурні можливості стимулювали розробку деяких нових аспектів фізико-мінералогічних досліджень у НАН України, серед яких відзначимо такі: 1. Дослідження оптичних спектрів породоутворювальних мінералів (гранатів, піроксенів, олівінів, амфіболів, шпінелідів тощо) за високих значень температури (до 600 °С) і тиску (до 10 ГПа), націлені на моделювання *in situ* стану мінеральної речовини та її кристалохімічних параметрів в умовах верхньої мантії Землі (М. М. Таран). Такі дослідження дають змогу прогнозувати фізико-хімічні властивості мантійної речовини — прозорість по відношенню до теплового випромінювання, електропровідність, механізми утворення твердих розчинів, фазові перетворення тощо.

2. Вивчення спектроскопічних параметрів іонів $3d^N$ -елементів у штучних аналогах мінералів, вирощених за точно визначених фізико-хімічних параметрів середовища з метою дослідження впливу останніх на формування системи оптично активних центрів, які можна розглядати як індикатори умов мінералоутворення (В. М. Хоменко).

3. Детальне дослідження спектроскопічних властивостей мінералів, цікавих з погляду нових технічних матеріалів, насамперед оптичних квантових генераторів. Зокрема, за результатами досліджень із застосуванням методів оптичної спектроскопії і люмінесценції виявлено низку мінералів (кіаніт, форстерит, сподумен тощо), які за спектроскопічними властивостями віднесено до розряду перспективних об'єктів (О. М. Платонов, А. М. Таращан, М. М. Таран, В. М. Хоменко).

4. З'ясовано форми входження ОН-груп до породоутворювальних "неводних" верхньомантійних мінералів (олівінів, гранатів, піроксенів) на основі детального аналізу *FTIR*-спектрів. Відомо, що олівін складає ~ 80 % об'єму верхньої мантії і "ОН-дефекти" та гідроксилвмісні фази, у ньому присутні, імовірно, є основним джерелом води в розчинах мантійного походження (С. С. Мацюк).

5. Радіоспектроскопічні дослідження впливу радіації на породоутворювальні мінерали, в тому числі експериментальні дослідження процесів перетворення гідроксилвмісних мінералів під дією різних енергетичних полів, відкрили можливість вивчення їх радіаційної стійкості і вибору радіаційно стійких середовищ (інженерних бар'єрів), у даному випадку — певних геологічних формацій і масивів гірських порід у межах УЩ (А. С. Литовченко, В. П. Іваницький, А. М. Калініченко, М. М. Багмут).

6. Дослідження з ретроспективної ЕПР дозиметрії біомінеральних об'єктів (емалі зубів, кісткової тканини, мінеральних включень у слабомінералізованих біологічних тканинах тощо), що фіксує дозу опромінення, яку людина отримала в минулому. Ці роботи націлені також на вирішення практичних задач, пов'язаних з мінімізацією негативних наслідків Чорнобильської катастрофи (О. Б. Брик, В. В. Радчук, О. І. Щербина).

Паралельно з напрацюванням нових ідей і аспектів фізико-мінералогічних досліджень вчені ІГМР ім. М. П. Семененка успішно продовжують вивчення мінеральної речовини в рамках традиційної проблематики, в тому числі вищезгаданої програми "Спектроскопія породоутворювальних мінералів і її прикладні аспекти". За останні роки завершено узагальнення щодо спектроскопічних властивостей польових шпатів та шаруватих силікатів із обґрунтуванням кристалохімічних, енергетичних та генетичних моделей спектроскопічно активних центрів, розглянута роль останніх в якості діагностичних, кристалохімічних і генетичних індикаторів, кореляційних і пошукових критеріїв

(О. М. Платонов, А. М. Таращан, Т. А. Рочакук, В. М. Хоменко, Т. М. Лупашко).

За допомогою методів інфрачервоної спектроскопії (*FTIR*) і люмінесценції вперше детально вивчено домішкові і структурні дефекти в розсіпних алмазах всіх шести геоблоків УЩ, з'ясована їх приналежність до мантійних утворень (В. М. Квасниця, М. М. Таран, К. О. Ільченко, А. М. Таращан, Т. М. Лупашко). Відзначені як особливості, так і ознаки подібності українських алмазів з алмазами із корінних джерел різних геолого-генетичних типів. Оцінено температуру кристалізації алмазів, можливий час утворення і належність до певного парагенетичного типу мантійних порід. Показано також, що в межах кожного геоблоку УЩ ореоли чи розсипи алмазів формувалися за рахунок багатьох різних корінних джерел, набір яких для кожного блоку специфічний.

Тривають цілеспрямовані дослідження радіаційної стійкості мінералів з метою розробки методів прогнозу радіаційної стійкості середовищ (інженерних бар'єрів) і рекомендацій щодо умов захоронення високоактивних відходів діяльності АЕС у геологічних формаціях УЩ (А. С. Литовченко, В. П. Іваницький, А. М. Калініченко, М. М. Багмут). Вивчення механізмів впливу радіаційних полів на кристалічні структури мінералів має важливе значення і для пізнання природи метаміктності уран- і торійвмісних мінералів — перспективної задачі радіоспектроскопії мінеральної речовини в цілому.

Розгортаються дослідження в області спектроскопії домішкових нанорозмірних структур і наноіндивідів у породоутворювальних мінералах, що відкриває нові шляхи пізнання механізмів утворення та еволюції твердих розчинів у процесі тривалої термічної і радіаційної історії мінеральної речовини.

Кристаломорфологія мінералів. Кристаломорфологічні (гоніометричні) дослідження мінералів України розпочалися ще у 1868 р. і пов'язані з іменами австро-угорських, німецьких, польських та російських дослідників другої половини

XIX ст. (Г. Чермак, Я. Румф, Ф. Зефарович, М. Кокшаров, П. Єремеев та ін.) і першої половини XX ст. (Я. Самойлов, Ф. Кройц, А. Лашкевич, О. Ферсман, С. Попов та ін.).

У повоєнні роки (з 1945 р.) ці дослідження проводилися переважно у вищих навчальних закладах республіки — університетах Львова і Києва. Особливо інтенсивно працювали в цьому напрямі львівські мінералоги під керівництвом Є. К. Лазаренка і Г. Л. Піотровського, результати їхньої роботи викладені в декількох монографічних виданнях з регіональної мінералогії західної частини України і в численних статтях.

Інтенсивні кристаломорфологічні дослідження мінералів України у Національній академії наук України почалися в 1960-х рр. під керівництвом О. С. Поваренних і Є. К. Лазаренка. Особливе значення мали теоретична розробка О. С. Поваренних "О зависимости облика минерального индивида от его структуры и условий кристаллизации" (1965) і видання за його редакцією збірників "Морфология, свойства и генезис минералов" (1965) і 11 випусків "Конституция и свойства минералов".

Наприкінці 1960-х рр. під керівництвом Є. К. Лазаренка продовжено кристаломорфологічне вивчення мінералів України: цього разу для важливих її рудних центральних і східних регіонів — Східна Волинь, Криворіжжя, Донбас і Приазов'я. Результати висвітлені у монографіях "Минералогия и генезис камерных пегматитов Волыни" (1973), "Минералогия Донецкого бассейна" (1975), "Минералогия Криворожского бассейна" (1977) та "Минералогия Приазовья" (1981). Ці кристаломорфологічні роботи виконані П. К. Вовком, Д. К. Возняком, Б. В. Заціхою, В. М. Квасницею, В. М. Крочуком, В. В. Кушеевим, Г. О. Кульчицькою, В. С. Мельниковим, В. І. Павлишиним. До класичних робіт належать кристаломорфологічні дослідження представників львівської школи: П. К. Вовка — кристаломорфологія польових шпатів із

камерних пегматитів Волині, Б. В. Заціхи — кристаломорфологія гідротермальних мінералів ртутних і поліметалічних родовищ Карпат і Донбасу. Окремо слід відзначити кристаломорфологічні дослідження В. М. Крочука, який вивчив близько двох десятків мінералів Чернігівського карбонатитового комплексу. Досягнення мінералогів НАН України в області кристаломорфології доцільно розглянути за двома напрямками: симетрійний і кристаломорфологічний аналізи мінералів України.

Симетрійний аналіз мінералів України. Розподіл мінералів земної кори за кристалографічними показниками (категорії, сингонії, види і просторові групи симетрії) для геологічних регіонів, рудних районів чи мінеральних комплексів дає можливість порівнювати еволюцію їх розвитку, оцінювати рудоносність і прогнозувати можливість знахідок нових мінералів.

У 1989 р. В. М. Квасниця і Л. М. Єгорова провели симетрійний аналіз мінералів для важливого рудного регіону — Українських Карпат і порівняли результати з наявними відомостями про мінерали Карпат і земної кори взагалі та інших регіонів України. Одним із висновків стала впевненість у імовірності значного збільшення кількості карпатських мінералів, тобто відкриття нових мінералів для Українських Карпат. Цей прогноз справдився, з того часу число відомих мінералів в українській частині Карпат зросло на кілька десятків.

У 1991 р. В. І. Павлишиним, В. М. Квасницею і В. С. Мельниковим симетрійний аналіз мінералів було виконано вже для всієї території України. Результати такого аналізу відомих на той час майже 700 мінералів свідчили, що послідовність їх розподілу за кількістю мінералів по категоріях, сингоніях і видах сингоній майже ідентична такій для земної кори. Ця послідовність (від поширених до менш поширених) виглядає для категорій: низька — середня — вища; для сингоній: моноклінна — ромбічна — кубічна — тригональна — тетрагональна — гексагональна —

триклинна; для видів: планаксіальні — центральні — планальні — аксіальні — примітивні — інверсійно-планальні — інверсійно-примітивні. Як і земній корі, території України властива значна перевага планаксіальних видів (~ 70 % мінералів). Найважливіші за кількістю мінералів України такі види симетрії: $2/m$, mmm і $m3m$, а також такі просторові групи: $C2/m$, $Phma$, $P2_1/C$.

У 2007 р. В. І. Павлишин, О. В. Зінченко і С. О. Довгий виконали симетрійний аналіз ще більшої кількості відомих мінералів України — 894 мінеральні види. Ще раз підкреслено провідну роль моноклінних мінералів і мінералів планаксіальних видів симетрії у надрах України, як і у земній корі, але за рахунок відкриття нових мінералів дещо підвищилася частка кубічних мінералів в Україні порівняно із земною корою. Висновок такого недавнього аналізу — симетрійна характеристика мінералів України дещо вища, ніж така для земної кори в цілому, надра України мають резерв для відкриття нових мінеральних видів ванадатів, арсенатів, фосфатів, боратів, мінералів Se, а також мінералів низки халькофільних (Zn, Cu, Pb, Hg, Sn, Mo, Ge) і літофільних (Cs, Sr, Ba, Cr, Ti, Mn, Zr) елементів, мінералів I, Br, Cl, Rb, Hf і Ga — тобто переважно мінералів більш низької симетрії.

Кристаломорфологічний аналіз мінералів України. Добре вивчено на сьогодні кристаломорфологію близько двох десятків мінералів, до яких належать: самородне золото, самородна мідь, алмаз, графіт, сірка, сфалерит, кіновар, баделеїт, кварц, циркон, фенакіт, топаз, альбіт, ортоклаз, мікроклін, барит, сингеніт, кальцит. До найкраще кристаломорфологічно вивчених регіонів можна віднести Приазовський блок УЩ і Донецьку складчасту область, а до мінеральних комплексів — камерні пегматити Волині, карбонатити Приазов'я і гідротермальну мінералізацію Закарпаття.

Серед важливих напрацювань з кристаломорфології мінералів України, виконаних у Національній академії на-

ук України протягом останніх 35 років, відзначимо такі. 1. Всесторонньо вивчено кристаломорфологію кварцу камерних пегматитів Волині і гідротермальних утворень Донбасу, Криворіжжя, Криму, Карпат і Закарпаття (В. В. Кушеєв, Д. К. Возняк, В. М. Квасниця, Б. В. Заціха, В. С. Мельников, В. І. Павлишин). Незвичайну морфологію і походження мають кристали кварцу типу мармароських діамантів із Карпат, Закарпаття, Криму і Донбасу (Д. К. Возняк, В. М. Квасниця, Б. В. Заціха, Ю. А. Галабурда, В. І. Павлишин). Вони можуть слугувати пошуковою ознакою проявів вуглеводнів у земній корі.

2. Показано залежність форми кристалів сфалериту із поліметалічних родовищ і рудопоявів України від його хімічного складу та умов утворення (С. О. Галій, П. К. Вовк, В. М. Квасниця).

3. Розроблено морфогенетичну класифікацію самородного золота із родовищ і рудопоявів України (В. М. Квасниця). Загалом найбільш багата морфологія кристалів низькопробного малоглибинного золота із кварц-баритових жил Закарпаття, менш багата — середньопробного середньоглибинного із гідротермальних жил Нагольного кряжу Донбасу і відносно проста — високопробного глибинного із родовищ і рудопоявів УЩ.

4. Складено морфогенетичну класифікацію самородної міді України (І. В. Квасниця, В. М. Квасниця). Для міді із зон гіпергенезу по ультраосновних породах південно-західної частини УЩ властивий розвиток дендритів і двійників, кристали міді із вендських базальтів Волині відзначаються багатством простих форм.

5. Досліджено кристаломорфологію графіту із давніх метаморфічних і магматичних порід України (В. М. Квасниця, В. М. Крочук, В. Г. Яценко). Виявлено унікальні прояви спірального росту кристалів графіту (мікроспіралі на кристалах графіту із метаморфічних порід і макроспіралі на кристалах із магматичних порід). З'ясовано природу сферолітів графіту; встановлено рідкісний тип його кристалізації у вигляді дендритів.

6. Серед кристалів кубічних мінералів (самородне золото, самородна мідь і алмаз із родовищ і рудопроявів України) встановлені незвичайні і рідкісні форми їх кристалізації у вигляді двійників, трійників, четверників і п'ятирників (В. М. Квасниця). Створено модель їх формування для кристалів з різним набором простих форм ($\{111\}$, $\{100\}$, $\{hko\}$ та ін.). Такий тип кристалізації мінералів властивий росту в пересиченому середовищі і часто характеризує багаті руди.

7. Вивчено морфологію кристалів синтезованого андалузиту (Г. Т. Остапенко, В. М. Квасниця). Встановлено нові форми росту на кристалах синтетичного алмазу (В. М. Квасниця).

Не менш важливе наукове і практичне значення мають отримані дані з кристаломорфології кіноварі Закарпаття (Б. В. Заціха, В. М. Квасниця), золотоносного піриту Донбасу і Криму (В. М. Квасниця, В. М. Крочук, Ю. О. Кузнєцов), бадделеїту із карбонатитів, кальцифірів і розсипищ України (В. М. Квасниця, В. М. Крочук), танталоніобатів Приазов'я (В. М. Квасниця, В. М. Крочук), мінералів міаролових порожнин в дацитах Закарпаття (В. М. Квасниця, В. М. Крочук), керченіту Криму (В. М. Квасниця), волніну Закарпаття (В. М. Квасниця), фенакиту Волині (В. М. Квасниця) та ін.

Важливого значення набули кристаломорфологічні дослідження під час розробки мінералогічних критеріїв пошуку корінних родовищ алмазу в Україні. В монографіях "Мелкие алмазы" (В. М. Квасниця, 1985), "Кристалломорфология алмаза из кимберлитов" (З. В. Бартошинський, В. М. Квасниця, 1991) і "Типоморфизм микрокристаллов алмаза" (В. М. Квасниця, М. М. Зінчук, В. І. Коптіль, 1999) надано детальну характеристику морфології кристалів алмазу із розсипищ України і кимберлітів Якутії, Біломор'я (Росія) та інших родовищ світу, зіставлено морфологію кристалів алмазу із різних джерел, розкриті питання його кристалогенезису. Проведено гоніометричне вивчення

морфології мінеральних включень в алмазах із кимберлітів (З. В. Бартошинський, В. М. Квасниця); показано, що у більшості випадків морфологія мінералів-в'язнів алмазу індукована мінералом-господарем. Проте в рідкісних випадках мінералів-включень в алмазах мають свою власну форму, що може вказувати на протогенетичний характер таких включень чи особливі умови кристалізації. Також гоніометрично досліджено морфологію кристалів піропу, хромшпінеліду і хромдіопсиду із кимберлітів Якутії і Біломор'я (В. М. Квасниця, В. М. Крочук, Ю. С. Цимбал, О. А. Вишневський). Вивчено морфологію кристалів мінералів-супутників алмазу (піропу, піроп-альмандину, хромшпінеліду, пікроільменіту, хромдіопсиду, омфациту) із різновікових шліхових ореолів західної частини УЩ (Ю. С. Цимбал, С. М. Цимбал). Отримані дані мають важливе значення для з'ясування джерел живлення ореолів і пошуків корінних родовищ алмазів.

Експериментальна і фізико-хімічна мінералогія. Вагомі здобутки у розвиток фізико-хімічного напрямку генетичної мінералогії й петрології вніс академік АН СРСР В. С. Соколов. У його класичній роботі "Введение в минералогію силикатов" (1949) розглянуті основні проблеми фізико-хімічної петрології — роль термодинамічних чинників мінеральних рівноваг, оцінка температури і тиску мінералоутворення, роль стресу під час метаморфізму, рухливість компонентів і парагенетичний аналіз.

Розвитку фізико-хімічної мінералогії в Академії наук України сприяло створення в 1966 р. за ініціативи академіка М. П. Семененка в Інституті геологічних наук АН УРСР відділу експериментальної мінералогії під керівництвом відомого фізико-хіміка, фахівця в області багатоконпонентних силікатних систем члена-кореспондента АН УРСР А. С. Бережного. У 1969 р. відділ перейшов у створений Інститут геохімії та фізики мінералів. Напрямом робіт відділу — експериментальне й теоретичне вивчення термодинамічної стійкості та механізму утворення мінералів

за високих значень температури й тиску, їхній синтез і фізико-хімічне дослідження, визначення термодинамічних умов природного мінералоутворення. Розпочато створення експериментальної бази. Колектив інженерів і техніків створює перші в Україні газові бомби (газостати) для проведення експериментів за температури до 1200 °С і тиску газів до 200 МПа. Створені автоклавні установки, гідротермальна установка екзоклавної типу, розрахована на температуру до 800 °С та тиск до 800 МПа, виготовлено оригінальне устаткування і вузли апаратури високого тиску (М. Д. Бондаренко, В. Г. Гурін, В. А. Куц, А. М. Чибісов, В. Б. Грановський). У результаті виконано наукові розробки, які мають важливе теоретичне й прикладне значення.

Вже у 1970 р. була опублікована монографія А. С. Бережного "Многокомпонентные системы окислов" — капітальне зведення відомостей про фізико-хімічні властивості мінералів і фазових рівноваг у системі $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$, на основі яких проведений аналіз субсолідусної будови її підсистем.

Основним напрямком робіт члена-кореспондента АН УРСР Ю. П. Мельника, який з 1971 р. завідував відділом експериментальної мінералогії, був фізико-хімічний аналіз утворення залізорудних родовищ докембрію з акцентом на встановлення залежності мінералоутворення від режиму легких компонентів. Результати критичного аналізу і уточнення термодинамічних властивостей мінералів та компонентів флюїду системи $\text{Fe} - \text{Mg} - \text{Si} - \text{C} - \text{O} - \text{H} - \text{S}$ наведено у довіднику "Термодинамические константы для анализа условий образования железных руд" (1972). У цій роботі, а також у монографії "Термодинамические свойства газов в условиях глубинного петрогенеза" (1978) проведено аналіз $P-V-T$ даних для компонентів природних флюїдів, а для прогнозу термодинамічних властивостей слабовивчених компонентів використано оригінальний варіант принципу відповідних станів.

Особливості міграції та осадження

заліза й кремнезему з утворенням залізистих осадів, їхнього діагенезу, метаморфізму і перетворення в залізні руди розглянуто в монографії "Физико-химические условия образования докембрийских железистых кварцитов" (1973). Разом з В. В. Радчуком проведено експериментальне дослідження термодинамічної стійкості грюнериту та доломіту, фазових рівноваг у системі $\text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ і запропоновано термодинамічну модель метаморфізму сидеритових залізистих кварцитів.

У системі $\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ розроблені механізми розчинення та конденсації кремнезему і формування кристалічної структури кварцового типу (Б. М. Міцюк "Взаимодействие кремнезема с водой в гидротермальных условиях", 1974). Експериментально вивчений механізм і кінетика утворення кварцу з аморфного кремнезему за температури до 250 °С і гідротермального тиску до 400 МПа у різних середовищах, синтезовані та вивчені принципово нові фази кремнезему шаруватої будови. Досліджено механізм і кінетику переходу аморфного кремнезему в кварц у чистій воді за температури до 600 °С і тиску до 1100 МПа. Результати експериментів узагальнено в монографії Б. М. Міцюка, Л. І. Горогоцької "Физико-химические превращения кремнезема в условиях метаморфизма" (1980).

На підставі використання радіоактивного ізотопу ^{195}Au вперше вивчений механізм сорбції та відновлення золота на кремнеземах різної природи із хлоридних, тіосульфатних й аміачних розчинів (Б. М. Міцюк та ін.). З метою розробки методики поховання радіоактивних ізотопів тритію і поліпшення екологічних умов вивчений механізм ізотопного обміну водню на дейтерій у шаруватих формах кремнезему та глинозему за температури до 200 °С (Б. М. Міцюк, Г. Т. Остапенко).

Уперше експериментально вивчено кінетику перетворень між дистеном, андалузитом та силіманітом. Запропоновано кінетичні рівняння для оцінки вікових інтервалів перетворень за умов метаморфізму. Експериментально вивчено

реакцію біотит + кварц = ортопіроксен + калієвий польовий шпат + вода та ізоморфне входження титану до структури кварцу, що дозволило уточнити *PT*-умови утворення порід чарнокітової асоціації. Отримані результати узагальнені в монографії Г. Т. Остапенка, Б. Г. Яковлева, Л. І. Горогоцької, Л. П. Тимошкової "Физико-химические условия метаморфизма глиноземистых пород докембрия" (1983).

Розроблено термодинамічну теорію мінеральних перетворень за умов негідростатичної напруги. Вивчено надлишковий кристалічний тиск під час реакцій гідратації та показано його роль у процесах серпентинізації й цеолітизації. Проведено термодинамічний аналіз кристалобластезу, сформульовані термодинамічні умови утворення ідіоморфних кристалів у процесах метаморфізму (Г. Т. Остапенко "Термодинамика негидростатических систем и её применение в теории метаморфизма", 1977).

В. О. Курепін досліджував розподіл компонентів між мінералами як показник умов утворення гірських порід і запропонував використати його не тільки для визначення температури та флюїдного режиму, але й тиску мінеральних рівноваг (1976). Він розглянув особливості термодинаміки мінералів як багатокомпонентних багатопозиційних твердих розчинів. Для оцінки активності компонентів у мінералах розробив термодинамічні моделі гетеровалентного ізоморфізму, моделі шпінелей, H_2O та CO_2 вмісного кордієриту, біотиту та інших мінералів. Ці результати, а також оцінка термодинамічних властивостей породоутворювальних мінералів як твердих розчинів, оцінка мінеральних парагенезисів як показників температури, тиску й флюїдного режиму і розрахунок фізико-хімічних умов утворення гірських порід УЩ склали монографію "Термодинамика минералов переменного состава и геологическая термобарометрия" (1981).

Уточнення термодинамічних властивостей мінералів для термобарометрії, розробка геотермометрів і геобарометрів були темою низки робіт В. О. Курепіна і

Б. Г. Яковлева. Оцінку термодинамічних умов утворення докембрійських порід УЩ та інших регіонів світу наведено в роботах Р. Я. Белєвцева, В. О. Курепіна, Ю. П. Мельника, Г. Т. Остапенка, Б. Г. Яковлева та ін. Ними опубліковано монографічні праці, присвячені оцінці умов утворення порід певного типу (метапелітів, карбонатів, гранітів, мафітів й ультрамафітів), у яких визначалися в основному температура та флюїдний режим петрогенезису. Перші оцінки значень тиску 5 ± 1 кбар (Р. Я. Белєвцев, 1980, 1982; В. О. Курепін, 1981) вказали на близькі до ізобаричних умови метаморфізму нижньопротерозойських порід різних фацій, що вийшли на поверхню УЩ. Однак наступні уточнення (В. О. Курепін, 1998, 2003) дозволили визначити *PT* співвідношення (геотерму) нижньопротерозойського петрогенезису з одночасним збільшенням значень температури й тиску, а також більш низькотемпературну архейську геотерму.

З метою розробки термобарометрії верхньої мантії Ю. М. Колесник зі співробітниками відділу проблем алмазоносності з 1978 р. досліджували мінерали перидотитів і залежність їхнього складу від тиску. Проведено експериментальне визначення теплоємності гранату та глиноземистого ортопіроксену, аналіз катіонного розподілу в олівіні й ортопіроксені, запропонований метод оцінки тиску за складом гранату, гранат-ортопіроксеновий термобарометр, відкалібрований і використаний для визначення тиску утворення перидотитів.

У відділі експериментальної мінералогії вперше вивчено умови синтезу і кристалохімічні особливості низки силікатних мінералів (циркону, гранату, олівіну, ларніту), а також рідкісних мінералів Ti , Nb й Ta (ешеніту, евксеніту, райнерсоніту тощо), які в природі у чистому виді не зустрічаються (Б. Г. Шабалін, О. С. Поваренних, С. С. Мацюк, В. О. Сьомка). На підставі цих робіт в Інституті геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України розроблені методи синтезу штучних мінералів і сполук з великою ізоморфною ємністю щодо радіоактивних ізотопів з метою їхнього ви-

користання для поховання радіоактивних відходів (Б. Г. Шабалін).

В останні роки проводилися експериментальні дослідження в області гідротермального синтезу — монокристалів п'єзокварцу, кольорового кварцу, а також андалузиту, що має унікальні мазерні властивості. Вивчено кінетику і механізм розчинення та кристалізації окремих граней монокристалів кварцу, магнетиту й поліморфів Al_2SiO_5 . Отримані результати важливі для розуміння процесів утворення цих мінералів у природних умовах, а також для вдосконалення технології вирощування монокристалів кварцу (Г. Т. Остапенко, Б. М. Міцюк).

Біомінералогія вивчає мінерали, сформовані внаслідок життєдіяльності біологічних об'єктів. Основні принципи біомінералогії закладені в ідеях першого Президента Української Академії наук В. І. Вернадського про єдність органічної (живої) та неорганічної (неживої) матерії. Перша республіканська конференція з біомінералогії, що проходила у 1988 р. в Луцьку, була присвячена 125-річчю від дня народження В. І. Вернадського. Завдяки різноманітним дослідженням, які були виконані, у тому числі і в Національній академії наук України, біомінералогія, яка знаходиться на стику мінералогії, фізики, біології та медицини, здолала великий шлях. Спочатку предметом біомінералогії були загальні властивості та систематизація біомінералів різних типів, потім — детальне вивчення мінеральних фаз, структури, морфології, хімічного складу та інших характеристик біомінералів за допомогою експериментальних методів мінералогії. В наш час біомінералогія набуває ознак точної науки, яка за допомогою фізико-математичних підходів описує механізми взаємодії органічної та мінеральної матерії (О. Б. Брик, Л. Г. Розенфельд, В. А. Дубок), з'ясовує вихідні фізико-хімічні принципи, що визначають процеси фізіогенної та патогенної біомінералізації (О. Б. Брик, А. П. Шпак, Л. Г. Розенфельд), описує властивості біомінералів як мінерально-органічних нано-асоційованих систем за допомогою методів фізики твердого

тіла та динаміки незворотних процесів (О. Б. Брик, В. Б. Брік), а також з'ясовує загальні принципи коеволюції мінерального й органічного світів (М. П. Юшкін, 2007).

Досить повний та вдалий опис розвитку біомінералогії в Україні зроблено в огляді Ф. В. Зузука (2005). Опис досліджень біомінералів неминуче пов'язаний з різними схемами класифікації цих об'єктів. Серед біомінералів часто виділяють екзоскелети молюсків та мінерали, які локалізовані в організмі людини. У свою чергу, біомінерали організму людини поділяють на фізіогенні та патогенні. В Україні велику увагу приділяли дослідженням фазового складу та особливостям структури екзоскелетів молюсків (Ю. А. Борисенко, О. Б. Брик, І. В. Матяш, А. М. Калініченко), які сформовані переважно арагонітом і кальцитом, але основна кількість досліджень біомінералів в Україні пов'язана з фізіогенними (О. Б. Брик, А. М. Калініченко, М. М. Багмут, А. П. Шпак, В. Л. Карбівський, С. С. Іщенко, І. П. Ворона) та патогенними (В. І. Павлишин, В. Ф. Зузук, В. М. Білобрів, В. О. Дяків, В. М. Крочук, С. В. Кадурін) біомінералами організму людини. Принципові відмінності фізіогенної і патогенної біомінералізації пов'язані з наступним. Вважають (О. Б. Брик, В. Б. Брік), що завдяки особливому просторовому розташуванню органічних макромолекул в біологічному середовищі можуть виникати нанорозмірні області простору, для яких енергетично вигідно бути заповненими мінеральною (кристалічною) речовиною. Відповідно, центри мінералізації біологічної тканини та тип кристалічної (мінеральної) структури визначаються органічною матрицею. Органічна матриця керує формуванням мінеральних наноутворень завдяки поверхневій енергії наночастинок, тому фізіогенні біомінерали принципово є наномінералами, а біомінералогія фізіогенних мінеральних частинок — наномінералогією. Найбільш типовими представниками фізіогенних мінеральних наноутворень в організмі людини є нанокристали гідроксилапатиту в кістках та зубах, але мінеральні наноутворення відіграють важливу роль в функціонуванні

також і слабомінералізованих тканин, в тому числі тканин мозку (О. Б. Брик, А. П. Шпак, Л. Г. Розенфельд, В. Л. Карбівський). Фізіогенна наномінералізація біологічних тканин є нормальним явищем. Але завдяки різним чинникам фізіогенна біомінералізація може перетворюватися на патогенну. Це має місце тоді, коли органічна матриця з деяких причин втрачає можливість керувати процесами росту та розчинення мінеральних наноутворень і, відповідно, в біологічному середовищі починається неконтрольований ріст мінеральних частинок. Патологічне мінералоутворення починається тоді, коли розмір мінеральних частинок перевищує критичний і, відповідно, поверхнева енергія перестає контролювати ріст та розчинення мінеральних утворень.

Серед патологічних біомінералів найбільшу увагу в Україні приділяли камінню, яке може бути локалізовано в організмі людини. Жовчні камені (холеліти) детально досліджувались Я. В. Ганіткевичем, В. О. Дяківим та Ф. В. Зузуком. Встановлено наявність різних груп структури холелітів, обґрунтовано фрактальну модель формування холелітів, досліджено вплив Чорнобильської катастрофи на поширення холелітазу, вивчено внутрішню будову та склад каменеутворювальних мінералів (Ф. В. Зузук). Камені сечової системи людини (уроліти) вивчались в Україні В. М. Білобривом, Ф. В. Зузуком, В. І. Павлишиним, В. М. Крочуком, Ю. Г. Єдиним, В. С. Дзюраком, С. В. Кадурініми та іншими дослідниками. Запропоновано методику кількісного визначення мінерального складу каменів, зокрема в апатит-струвітових, фосфат-оксалатових та урат-оксалатових утвореннях (В. М. Білобрив, 1986, 1991, 1993). Детально досліджено також вміст та склад органічної аморфної речовини в уролітах (В. М. Білобрив, 1986, 1988). На основі растрово-електронномікроскопічних досліджень встановлено морфологічну характеристику каменеутворювальних мінералів і мінералоїдів: фосфатів, оксалатів, уратів та галоїдів (В. М. Крочук, В. С. Мельников, 1991, 1992). Стосовно

дослідження в Україні уролітів слід особливо відзначити опубліковану в 2002–2004 рр. тритомну монографію Ф. В. Зузука "Мінералогія уролітів", яка, на нашу думку, є суттєвим вкладом у світову науку.

Аварія на Чорнобильській атомній електростанції та необхідність визначення дози опромінення, яку людина отримала в минулому, стимулювали інтенсивні дослідження структури та властивостей емалі зубів. З'ясовано, що емаль зубів є надчутливим дозиметром, вмонтованим Природою в організм людини, але процедура достовірної реконструкції доз виявилась дуже складною задачею. Дослідження емалі зубів у зв'язку з ретроспективною дозиметрією виконували в Україні О. Б. Брик, В. В. Радчук, О. А. Бугай, О. І. Щербина, А. М. Калініченко, М. М. Багмут, С. С. Іщенко, В. П. Ворона та ін. Ці багатосторонні дослідження були виконані на замовлення Європейської комісії, яка займалася вивченням наслідків аварії на ЧАЕС, та Міжнародної агенції з атомної енергетики (МАГАТЕ). На основі цих досліджень МАГАТЕ в 2002 р. офіційно затвердило методику, за допомогою якої слід реконструювати дозу опромінення, яку людина отримала у минулому. Дослідження емалі зубів, які були виконані в зв'язку з ретроспективною дозиметрією, стимулювали встановлення механізмів виникнення карієсу на рівні нанорозмірних систем емалі (О. Б. Брик, В. В. Радчук, Л. Г. Розенфельд).

Перші польоти людини в космос виявили, що в умовах невагомості має місце досить швидка демінералізація кісток. Явище демінералізації кісткової тканини є суттєвим медичним чинником, що перешкоджає тривалим космічним польотам. Традиційні медико-біологічні підходи виявились недостатніми для встановлення механізмів демінералізації кісток. Дослідження процесів демінералізації на рівні нанокристалів гідроксилапатиту, що формують мінеральну компоненту кісткової тканини, були виконані О. Б. Бриком, О. М. Атаманенко, Л. Г. Розенфельдом, А. М. Калініченко та М. М. Багмутом на замовлен-

ня Національного аеронавігаційного та космічного агентства (НАСА) США й Національного космічного агентства України. У результаті проведених досліджень були розроблені експериментальні методики, які дозволяють контролювати процеси демінералізації на рівні нанорозмірних систем кісткової тканини та на рівні кістки як органа (О. Б. Брик, Л. Г. Розенфельд, О. М. Атаманенко). Крім того, розроблені методики дозволили визначати ефективність контрзаходів щодо гальмування процесів демінералізації кісток в умовах невагомості (О. Б. Брик, В. С. Оганов, Л. Г. Розенфельд).

Для лікування захворювань кісток використовують різного роду імпланти, виготовлені на основі гідроксилапатиту (який є синтетичним аналогом мінеральної компоненти кісток) та інших фосфатів і оксидів. Однак оскільки механізми взаємодії матеріалу імплантату і живої кісткової тканини залишаються нез'ясованими, то це утруднює створення імплантів з наперед заданими властивостями. На замовлення Наукового технологічного центру України (НТЦУ), який створено США та країнами ЄС, виконано дослідження процесів асиміляції матеріалів імплантів живою кістковою тканиною (О. Б. Брик, О. М. Атаманенко, В. А. Дубок, Л. Г. Розенфельд, А. С. Литовченко, А. М. Калініченко та М. М. Багмут). При цьому були розроблені методики, що дозволяють контролювати процеси асиміляції імплантів на нанорозмірному рівні та оптимізувати технології створення імплантів з наперед заданими властивостями (О. Б. Брик, В. А. Дубок, Л. Г. Розенфельд). Виконані дослідження стали фізичною основою для створення нового покоління імплантів, які зараз широко використовуються в медичних закладах України.

Дослідження біомінералів, що локалізовані в організмі людини, пов'язані, як правило, з високомінералізованими біологічними тканинами. Однак в слабомінералізованих тканинах, у тому числі в тканинах мозку, теж можлива реєстрація суто мінеральних утворень.

О. Б. Бриком, А. П. Шпаком, Л. Г. Розенфельдом та В. Л. Карбівським показано, що в тканинах мозку за допомогою методу магнітного резонансу можна реєструвати як фізіогенні, так і патогенні магнітоупорядковані мінеральні включення, які сформовані гідроксидами та оксидами заліза. Фізіогенні магнітні нанотворення в тканинах мозку демонструють наявність унікальних динамічних ефектів, які можна інтерпретувати як генерацію наночастинками електромагнітних хвиль трисантиметрового діапазону (О. Б. Брик).

На основі експериментальних даних зроблено висновки, що фізіогенні магнітні наночастинки відіграють важливу роль у функціонуванні мозку, а патогенні можуть бути причиною захворювань цієї тканини (О. Б. Брик, А. П. Шпак, Л. Г. Розенфельд, Л. Ф. Суходуб). Аномальні динамічні ефекти, які демонструють фізіогенні магнітні наночастинки, використовуються для розробки технологій створення синтетичних аналогів магнітних нанотворень, локалізованих в тканинах мозку. Синтез їх здійснюється з метою створення систем для зберігання та обробки інформації в пристроях, заснованих на принципах роботи мозку.

Оскільки біомінерали є унікальним особливим класом наноматеріалів, у яких на нанорозмірному рівні переплетені властивості мінеральної та органічної матерії, то цілеспрямоване дослідження біомінералів є перспективним для відкриття нових явищ і закономірностей в мінералогії, фізиці, біології та медицині.

Космічна мінералогія. Космічна мінералогія посідає особливе місце у вивченні фундаментальної проблеми походження Сонячної системи, зокрема Землі, мінеральних і вуглеводневих ресурсів. Об'єктом її дослідження є зразки космічних тіл, в яких історія мінералів розпочалася з процесу конденсації в газопиловій протосонячній туманності і продовжується дотепер у безперервних фізико-хімічних перетвореннях консолідованої речовини.

Розвиток космічної мінералогії в Українській Академії наук пов'язаний зі створенням П. Й. Сушицьким в 1937 р.

Метеоритної колекції і організацією В. І. Вернадським в 1939 р. Комітету по метеоритах (КМЕТ) АН України. В. І. Вернадський першим відмітив нерозривний зв'язок в системі Земля — Космос і визначив дослідження космічних зразків як пріоритетний напрямок у вивченні походження Сонячної системи і Землі. Саме з цього часу розпочалось активне поповнення метеоритної колекції завдяки організації їх збору в Україні і популяризації знань про них, а також системне вивчення хімічного і мінерального складу метеоритів та їх фізичних властивостей. Цікаво відмітити, що невдовзі по закінченні Другої світової війни П. Й. Сушицький захистив першу на території СРСР кандидатську дисертацію з космічної мінералогії "Каменные метеориты Украины", а в 1955 р. з'явилась робота О. М. Алексеєвої "Физические свойства каменных метеоритов и некоторых магматических горных пород".

Починаючи з 1969 р. розвиток космічної мінералогії та космохімії продовжувався завдяки Є. К. Лазаренку, М. П. Семененку та Е. В. Собоновичу, які зуміли вийти за рамки земного "тяжіння" і стати покровителями космічних інтересів. Активна підтримка Є. К. Лазаренком космічної мінералогії в період зверхнього ставлення до неї як до інтелектуальної забави є прикладом його наукової інтуїції та широти світогляду. Він спільно з доцентом Львівського державного університету ім. Івана Франка А. А. Ясинською, яка займалась мінералогічними дослідженнями метеоритів та читала єдиний в СРСР курс "космічної мінералогії", вперше в світі класифікували метеоритні та місячні мінерали, проаналізували характер їх поширення в порівнянні із земними мінералами та зробили важливі генетичні висновки про загальні закономірності розвитку мінеральної речовини в природі.

Значна заслуга в організації вивчення космічної речовини в Україні належить М. П. Семененку, який в 1969 р. очолив КМЕТ АН України. Важливим результатом космічних інтересів М. П. Семененка була розробка киснево-водневої моделі Землі (М. П. Семененко, 1990). Вивчення космічної

речовини в той період виходить на більш глибокий, а саме космохімічний рівень. Космохімічні дослідження, очолювані Е. В. Собоновичем, були направлені на розробку фундаментальної проблеми первинного складу і походження Землі, вивчення речовинного зв'язку Землі з космосом і знайшли своє відображення в монографіях Е. В. Собоновича "Изотопы свинца в геохимии" (1970), "Изотопная космохимия" (1974) та "Ранняя история Земли" (1984). Крім наукових досліджень, М. П. Семененко та Е. В. Собонович сприяли організації Всесоюзних конференцій з космохімії і метеоритики, виданню збірників за матеріалами цих конференцій.

У 1977 р. В. П. Семененко захистила кандидатську дисертацію "Минералогия каменных метеоритов Украины", в якій значна увага приділена генезису метеоритів, особливо питанням ударного метаморфізму, хондроутворення та виникнення петрографічних типів хондритів. У 1970-х рр. в Україні розпочались активні дослідження порід метеоритних кратерів і астроблем, які очолили вчені А. А. Вальтер та Г. П. Гуров. Цей напрям межує з космічною мінералогією, оскільки об'єкт його дослідження є продуктом взаємодії космічних тіл зі земними породами, хоча і представлений переважно речовиною останнього.

Починаючи з 1980-х рр. космічна мінералогія остаточно перетворюється з описової на генетичну. Активне використання сучасних методів дослідження дозволило отримати детальні відомості про мінеральний, хімічний та ізотопний склад метеоритів, систематизувати літературні й оригінальні дані про космогенні процеси мінералоутворення, з'ясувати їх роль і послідовність у різні періоди еволюції метеоритної речовини та в'яснити умови існування мінералів у газопиловій протопланетній туманності (В. П. Семененко, 1986). На основі структурно-мінералогічних та хімічних досліджень були отримані оригінальні докази ударного синтезу органічної речовини в метеоритах (V. P. Semenenko, N. V. Golovko, 1994), проведені тонкі дослідження структури

ударно-метаморфічного алмазу (А. А. Вальтер та ін., 2003).

Результати робіт в області космічної мінералогії і космохімії опубліковано в книгах "Вещество метеоритов" та "Происхождение метеоритов" (Е. В. Соболевич, В. П. Семенов, 1984, 1985), "Метеориты Украины" (В. П. Семенов та ін., 1987). В цей же період захищені докторська дисертація В. П. Семенов "Допланетная история минерального вещества (генетическая минералогия обыкновенных хондритов)" (1987), а також кандидатські дисертації з мінералогії та космохімії залізних метеоритів (Б. В. Тертична, 1992), паласитів (Ю. В. Бондар, 1994) та хондритів (А. Л. Гіріч, 2000).

1993 р. у Інституті геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України утворено відділ космoeкології та космічної мінералогії, який є базовим у проведенні досліджень в галузі космічної мінералогії та космохімії в Україні. Основним завданням відділу є пошук нових типів космічної речовини, а також дослідження її як потенційного джерела мінеральних ресурсів космосу. Сформульовані головні положення нової галузі науки "космoeкології", яка вивчає космос з точки зору його практичної цінності для людства (В. П. Семенов, Е. В. Соболевич, 2001). Вперше в практиці мінералогічних і космохімічних досліджень пріоритет належить космoeкологічній проблемі, тісно пов'язаній з проблемами походження мінеральних ресурсів космосу і практичним питанням екологічної ситуації на Землі.

Особливе значення для розвитку космічної мінералогії в НАН України мають сумісні з закордонними колегами дослідження рідкісного за своїми характеристиками українського метеориту Кримка в лабораторіях Франції, Німеччини і США. Метеорит безцінний для науки не тільки своїм недиференційованим складом, що дозволяє характеризувати найбільш ранні фізико-хімічні процеси в протопланетній туманності, які є основою хімічного і мінерального складу планет (V. P. Semenenko et al., 2001; V. P. Semenenko, C. Perron, 2006), але і присутністю в них екзотичних

різновидів космічної речовини, невідомих в інших метеоритах (V. P. Semenenko, A. L. Girich, 2001, 2004). Вивчення цих різновидів дозволило розширити каталог космічної речовини, що є вагомим внеском у знання про мінералоутворювальне середовище, а також зробити висновок про наявність в Кримці окремих унікальних ксенолітів, які за своїми хіміко-мінералогічними особливостями наближаються до мінеральної складової комет (V. P. Semenenko et al., 2005).

Сьогодні відділ космoeкології та космічної мінералогії Інституту геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України працює над фундаментальною темою "Мінералогія та генезис пилової компоненти протопланетної туманності", перспективність якої забезпечена не тільки зародженням нового напрямку мінералогії — астромінералогії (зіркової мінералогії), але і наявністю досонячних мінералів в окремих українських метеоритах.

Прикладна мінералогія. Пошукова мінералогія. Ще в далекі передвоєнні роки В. І. Вернадський, О. Є. Ферсман і В. М. Крейтер стверджували, що без використання мінералогічних знань неможливо ефективно здійснювати пошуки родовищ корисних копалин, оскільки різко зменшився фонд родовищ, які можна легко відкрити. Невдовзі виникла проблема пошуку руд, що залягають лише на глибині. Народився новий термін (А. І. Гінзбург) — пошукова мінералогія: розділ прикладної мінералогії про методи і критерії пошуку та оцінки родовищ корисних копалин.

В Україні дослідження у галузі пошукової мінералогії започаткував Є. К. Лазаренко. 1951 р. у статті "К вопросу о современных задачах советской минералогии" він писав: "Вірна постановка пошуків і розвідки родовищ корисних копалин є можливою тільки за умови знання їх генезису". Нині ми уточнюємо — теоретичною основою пошукової мінералогії є вчення про типоморфізм мінералів. У історичному контексті варто згадати деякі видання (за редакцією Є. К. Лазаренка) з питань пошукової мінералогії: двочастинний збірник УМТ "Роль минералогии в

поисках и разведке нефтяных и газовых месторождений" (1976), його ж збірник "Минералогические критерии поисков редких и цветных металлов в пределах Украинского щита" (1977) і статтю (співавтор В. І. Павлишин) "Роль минералогических исследований в повышении эффективности геологоразведочных работ" (1977).

Новий етап розвитку пошукової мінералогії починається з 80-х рр. ХХ ст. і пов'язаний з напрацюваннями В. І. Павлишина, О. М. Платонова, А. М. Таращана, С. С. Мацюка, В. М. Хоменка, Д. К. Возняка, В. С. Мельникова, Г. В. Кузнецова тощо. На цьому етапі вчені розробляли наукові засади пошукової мінералогії, що базувалися на обґрунтованих, насамперед типоморфних, ознаках мінералів, які як критерії рудоносності засвідчували зв'язок окремих ознак з процесами рудоутворення.

Одним з важливих підсумків досліджень в області типоморфізму мінералів стала низка авторських свідоцтв на нові методики і критерії прогнозування, пошуку і оцінки родовищ різних видів мінеральної сировини. Загальною основою цих розробок є виявлення за допомогою методів фізики мінералів тонких конституційних особливостей мінералів — парамагнітних, хромо- чи люмінофорних центрів, в тому числі різноманітних структурних дефектів, їх певних кількісних співвідношень і комбінацій тощо, які можуть слугувати надійними індикаторами рудоутворювальних процесів певних асоціацій рудних мінералів (геохімічної спеціалізації родовищ), ступеня рудоносності різномасштабних геологічних об'єктів (тіл, масивів, ділянок, полів тощо). Такі прогнози і пошуково-оцінні критерії були розроблені для корінних і розсипних родовищ алмазу (за колориметричними параметрами мінералів алмаз-піропової фації глибинності), родовищ і рудопроявів рідкісних металів — Та, Nb, Ве, Li, Cs (за люмінесцентними характеристиками породотворювальних мінералів рідкіснометалевих пегматитів і метасоматитів), золота (за наявністю індикаторних парамагнітних центрів і центрів люмінесценції в польових шпатах і кварці), п'єзокварцу (див. золото) та інших видів мінеральної сировини. Багато зі згаданих розробок використані під час підготовки і обґрунтування цільових програм

з прогнозування, пошуку і оцінки родовищ рідкісних і благородних металів на території України.

Гемологія. В Україні відомо понад 300 проявів більше як 40 видів самоцвітної та ювелірної сировини, декілька її родовищ і є певні перспективи на відкриття нових родовищ коштовного та виробного каміння. Всебічне мінералогічне вивчення цікавих з естетичної точки зору представників мінерального царства є актуальним для оцінки ювелірних і декоративних якостей кольорового каміння та його сертифікації.

Гемологія в Україні має досить давню, ще недостатньо висвітлену історію. Новітня історія започаткована у повоєнний час, коли вчені ІГН АН УРСР розпочали дослідження коштовного каміння Волинського родовища (кварцу, топазу, берилу, фенакіту), яке завершилося публікацією колективної монографії "Пьезокварцевые пегматиты Волини" (1957). Згодом це каміння було в центрі уваги термобарогеохіміків Інституту геохімії і геології горючих копалин АН УРСР (В. А. Калюжний, Д. К. Возняк, О. Є. Лазаренко, З. І. Ковалишин, І. М. Наумко), які з'ясували ТРС-умови його кристалізації. Комплексна характеристика коштовного каміння камерних пегматитів наведена у вже згадуваній монографії з мінералогії цих утворень (1973).

Ще одна гемологічна тема — бурштин України — всебічно хвилювала і хвилює геологів і мінералогів (П. А. Тутковський, О. І. Майданович, Г. М. Ладиженський, В. М. Мацуй, В. А. Нестеровський, Б. І. Сребродольський). Стимулу цим дослідженням надало відкриття Клесівського родовища бурштину та перспективи відкриття нових його родовищ. Сучасний стан проблеми окреслено в книзі В. М. Мацюка і В. А. Нестеровського "Янтарь Украины (состояние проблемы)" (1995).

Особлива сторінка гемології в Україні пов'язана з дослідженням природи забарвлення коштовного каміння, яке започатковано в ІГН АН УРСР і потужно продовжено в ІГМР НАН України (О. С. Поваренних, М. М. Таран, О. М. Платонов, В. П. Беліченко, В. М. Хоменко, С. С. Мацюк). Протягом 20-ти років були детально вивчені оптичні

спектри і колориметричні параметри багатьох природних самоцвітів та їх синтетичних аналогів — смарагдів, берилів, топазів, турмалінів, корундів, шпінелей, гранатів, сподуменів, нефритів, скаполітів, лазуритів, амазоніту тощо. Сформульовані основні принципи використання методу оптичної спектроскопії в гемологічних дослідженнях, зокрема для діагностики коштовного каміння та розпізнання його імітацій, оцінки кольору каміння з традиційних і нових родовищ з метою паспортизації і сертифікації самоцвітної сировини тощо. Підсумок цих досліджень частково віддзеркалює книга О. М. Платонова, М. М. Тарана, В. С. Балицького "Природа окраски самоцветов" (1984). Природа ірізації чудових багатоколірних лабрадорів з родовищ України детально вивчена М. К. Крамаренком (1975).

Розроблені В. В. Індутним (1991) теоретичні основи й методичні прийоми планіметричного аналізу структур мінеральних агрегатів дали змогу вивчати і об'єктивно оцінювати декоративні властивості візерункового кольорового каміння — малахіту, чароїту, родоніту, яшми тощо.

Екологічна мінералогія — новий науковий напрям, який покликаний висвітлювати природу та наслідки взаємодії в системі "мінеральне царство — людство".

1989 р. під егідою УМТ і ІГФМ АН УРСР проведено наукову сесію "Проблеми екологічної мінералогії", яка проі-

люструвала жахливий стан забруднення від функціонування мінерально-сировинного комплексу України, що створив найбрудніше довкілля в Європі.

Дія мінералів на живий організм — дистанційна, дотикова, пневмонічна та харчова — звичайно, має негативні фізіологічні та спадкові наслідки. Маємо всі підстави стверджувати, що проблеми "людина і камінь", "мінеральні ресурси та екологія" на межі двох тисячоліть є дуже гострими, невідкладними, катастрофічно небезпечними для людства, тому вимагають уваги, ґрунтового аналізу, професіоналізму, активних дій. На мінеральному рівні цю проблему всебічно висвітлює монографія С. О. Довгого, В. І. Павлишина "Екологічна мінералогія України" (2003).

На завершення короткого переліку досягнень в галузі мінералогії за 90 років існування Академії наук України підкреслимо, що подальші успіхи в пізнанні ще не розкритих таємниць мінеральної речовини, в розшифровці унікальної мінералогенетичної інформації, яка закодована у конституції й властивостях природних мінералів, в ретельному вивченні мінерального світу й сировинної бази нашої держави тісно пов'язані з суттєвою та оперативною модернізацією лабораторної бази мінералогічних досліджень в Україні. Вирішення цієї досить гострої проблеми стає найголовнішим фактором в збереженні та зміцненні світового статусу вітчизняної мінералогічної науки.

Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, Київ
 Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення
 ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
 ІМаг НАН та МОН України, Київ
 Ін-т геохімії навколиш. середовища НАН
 та МНС України, Київ

Надійшла 29.05.2008

РЕЗЮМЕ. Стаття посвячена истории развития минералогических знаний с момента создания в 1918 г. Украинской Академии наук. Сжато рассматриваются основные достижения ученых НАН Украины в различных областях этой важнейшей дисциплины в цикле наук о Земле — региональной и генетической минералогии, кристаллохимии и физике минералов, кристалломорфологии, биоминералогии, экспериментальной, космической и прикладной минералогии и т. д. Подчеркивается вклад украинских ученых в развитие мировой минералогической науки.

SUMMARY. The paper is dedicated to the history of development of mineralogical knowledge in Ukraine since the time of formation of the Ukrainian Academy of Sciences in 1918. Main achievements of scientists from NAS of Ukraine in various fields of mineralogy such as regional and genetic mineralogy, crystallochemistry and physics of minerals, crystallography, biomineralogy, experimental, space and applied mineralogy are briefly discussed. Contribution of Ukrainian scientists to development of the world mineralogical science has been emphasized.