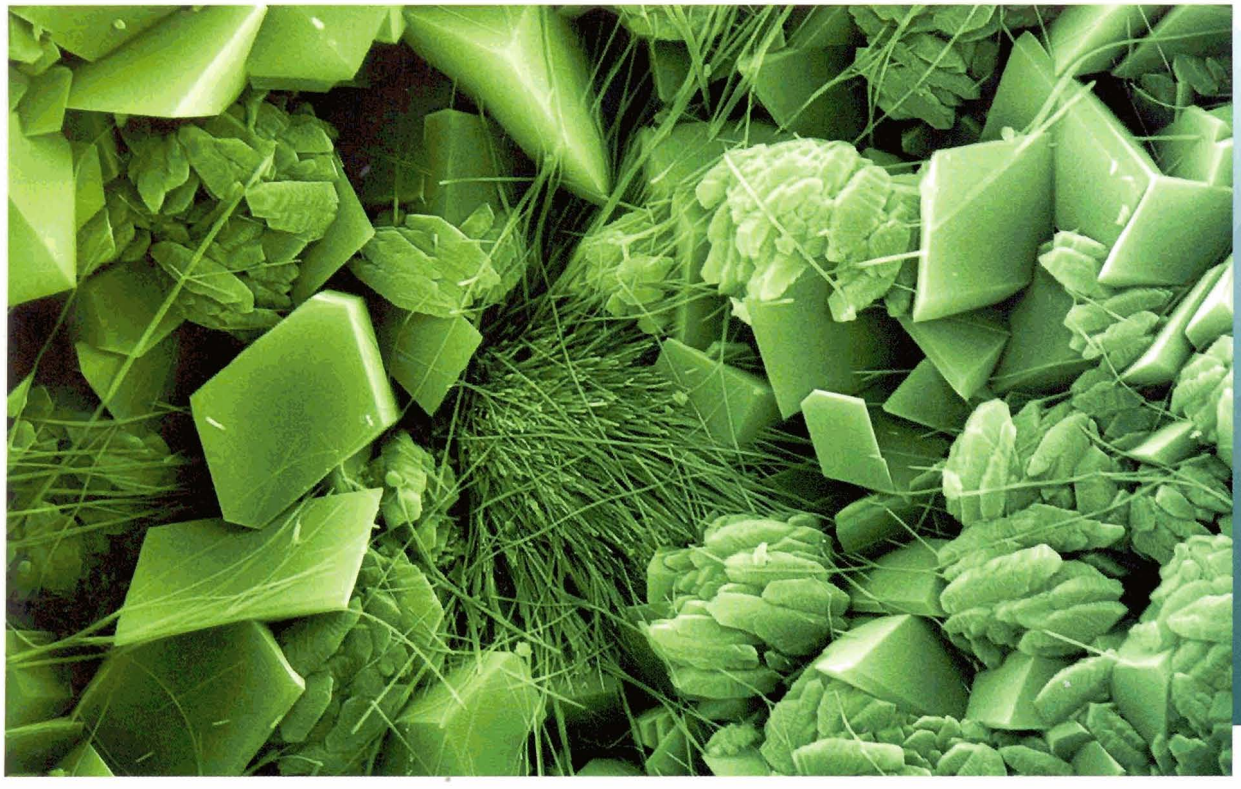
ISSN 0204-3548

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

90 РОКІВ

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ 1918

том тридцятий
2008
3



Номер присвячений 90-річчю
Національної академії наук України

The Issue is Dedicated to the 90th Anniversary of the
National Academy of Sciences of Ukraine

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНИЙ ЖУРНАЛ
ЗАСНОВАНИЙ У ВЕРЕСНІ 1979 р.
ВИХОДИТЬ 4 РАЗИ НА РІК
КИЇВ

Том 30, № 3, липень-вересень, 2008

Зміст

ПЕРЕДМОВА 5
ПАВЛИШИН В. І., ПЛАТОНОВ О. М., БРИК О. Б., ВОЗНЯК Д. К., КВАСНИЦЯ В. М., КУРЕПІН В. О., МЕЛЬНИКОВ В. С., МІЦЮК Б. М., СЕМЕНЕНКО В. П., ТАРАЩАН А. М. Мінералогія у Національній академії наук України 7
ЄСИПЧУК К. Ю., КРИВДІК С. Г. Петрологічні дослідження в Україні: досягнення останніх десятиліть та нагальні проблеми 38
ЩЕРБАК М. П., ПОНОМАРЕНКО О. М., СТЕПАНЮК Л. М., АРТЕМЕНКО Г. В., ЗАГНІТКО В. М., ШУМЛЯНСЬКИЙ Л. В. Геохімія ізотопів та геохронологія докембрію 60
ЖОВИНСЬКИЙ Е. Я., КУРАЄВА І. В., САМЧУК А. І. Основні напрямки розвитку пошукової та екологічної геохімії 71
ЗАГНІТКО В. М., БОБРОВ О. Б. Геохімія та рудоутворення (стан проблем та перспективи розвитку напрямів) 81

Хроніка

До 100-річчя від дня народження академіка В. С. СОБОЛЄВА 88
ВОЗНЯКУ ДМИТРУ КОСТЯНТИНОВИЧУ — 70 91
МЕЛЬНИКОВУ ВОЛОДИМИРУ СТЕПАНОВИЧУ — 70 94
До 60-річчя МИХАЙЛА МИКОЛАЙОВИЧА ТАРАНА 97
Наші автори 99

© Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, 2008

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації видане
Міністерством юстиції України
Серія КВ № 12859-1743 ПР

Друкується за постановою редакційної колегії журналу

Редактори А. І. РАДЧЕНКО, В. В. МАТРОСОВА
Художній редактор В. Т. СКОБІН

Здано до набору 1.09.2008. Підп. до друку 4.09.2008. Формат 70x108/16. Папір. офс. № 1.
Гарн. Таймс ЕТ.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 9,20. Тираж 300 прим. Зам. 1-03/08

Друкарня фірми "Есе", Київ, пр-т Вернадського, 34/1

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

MINERALOGICAL JOURNAL (UKRAINE)

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN SEPTEMBER, 1979

4 ISSUES PER YEAR

KYIV

Vol. 30, No 3, July-September, 2008

Contents

PREFACE 5
PAVLYSHYN V. I., PLATONOV O. M., BRIK O. B., VOZNYAK D. K., KVASNYTSYA V. M., KUREPIN V. O., MELNIKOV V. S., MITSYUK B. M., SEMENENKO V. P., TARASHCHAN A. M. Mineralogy at the National Academy of Sciences of Ukraine 7
ESYPCHUK K. YU., KRYVDIK S. G. Petrologic Investigations in Ukraine: Achievements of Recent Decades and Current Problems 38
SHCHERBAK M. P., PONOMARENKO O. M., STEPANYUK L. M., ARTEMENKO G. V., SHUMLYANSKYY L. V. Geochemistry of Isotopes and Geochronology of Precambrian 60
ZHOVYNSKY E. YA., KURAEVA I. V., SAMCHUK A. I. Basic Trends of Development of the Exploration and Ecological Geochemistry 71
ZAGNITKO V. M., BOBROV O. B. Geochemistry and Ore Formation (the State of Problems and Perspectives of Development of Trends) 81
News Items
On the 100th Anniversary of Birth of Academician V. S. SOBOLEV 88
VOZNYAK DMYTRO KOSTYANTYNOVYCH is 70 91
MELNIKOV VOLODYMYR STEPANOVYCH is 70 94
On the 60th Birthday of MYKHAILO MYKOLAYOVYCH TARAN 97
Our Authors 99

© M. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of National Academy of Sciences of Ukraine,

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief M. P. Shcherbak (Ukraine)

J. H. Baker (The Netherlands)
O. B. Bobrov (Ukraine)
V. F. Grinchenko (Ukraine)
K. Yu. Esypchuk (Ukraine)
S. G. Kryvdik — Deputy Editor-in-Chief (Ukraine)
G. O. Kulchytska — Secretary-in-Chief (Ukraine)
E. O. Kulish (Ukraine)
V. M. Kvasnytsya (Ukraine)
A. A. Marakushev (Russia)
V. I. Pavlyshyn — Deputy Editor-in-Chief (Ukraine)
A. Piestrzhyński (Poland)
O. M. Platonov (Ukraine)
O. M. Ponomarenko (Ukraine)
R. D. Schuiling (The Netherlands)
D. M. Shcherbak (Ukraine)
E. F. Shnyukov (Ukraine)
E. V. Sobotovych (Ukraine)
K. Sundblad (Finland)
G. Udubaşa (Rumania)
N. P. Yushkin (Russia)
V. M. Zagnitko — Deputy Editor-in-Chief (Ukraine)
Ed. Ya. Zhovinsky — Deputy Editor-in-Chief (Ukraine)

Head of the Editorial Staff
N. R. Kalmykova

Editors A. I. Radchenko, V. V. Matrosova

EDITORSHIP ADDRESS

34, Palladina Prospect, 03680, Kyiv–142, Ukraine
Tel. (38044) 424–02–42
Fax (38044) 424-12-70
E-mail: es@igmof.gov.ua

Передмова редакційної колегії "Мінералогічного журналу. Mineralogical Journal (Ukraine)"

(Протокол від 2.08.2008 р.)

Цей номер журналу присвячений основним результатам, що отримані вченими Інституту під час виконання наукової тематики по головних напрямах, затверджених відповідними рішеннями Президії Національної академії наук України.

Враховуючи те, що 15 років тому Інститут відзначив ювілейну дату з дня його організації — 25 років і видав книгу "Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення (1969–1994)" (1994), а у 1998 р. — ювілейний випуск "Мінералогічного журналу" до 80-річчя Національної академії наук України, в статтях цього випуску журналу викладені наукові результати, головним чином, за останні 10–15 років. На думку редакційної колегії, у науково-організаційному плані головне досягнення Інституту полягає в тому, що за цей час продовжувалось укріплення на сучасному (міжнародному) рівні наукових шкіл, які були закладені (засновані) вченими України ще до організації Інституту, тобто до 70-х років XX ст.

На сьогодні можна говорити про п'ять напрямів (шкіл), які розвиваються двома-трьома поколіннями вчених України (нижче вказані засновники та продовжувачі наукових шкіл).

1. Регіональна та генетична мінералогія; кристалохімія та фізика мінералів — *Є. К. Лазаренко* (регіональна та генетична мінералогія), В. І. Павлишин (регіональна та генетична мінералогія), В. М. Квасниця (кристаломорфологія мінералів), Д. К. Возняк (термобарогеохімія мінералів); *О. С. Поваренних* (кристалохімія мінералів), *І. В. Матяш* (радіоспектроскопія мінералів), О. М. Платонов (оптична спектроскопія мінералів); Є. Г. Куковський (кристалохімія мінералів), О. Л. Литвин (кристалохімія мінералів), А. М. Таращан (люмінесценція мінералів), О. Б. Брик (радіоспектроскопія мінералів, біомінералогія), А. С. Литовченко (радіоспектроскопія мінералів), М. М. Таран (оптична спектроскопія мінералів), С. С. Мацюк (оптична спектроскопія мінералів).

2. Регіональна та генетична петрологія (петрологія ендогенних процесів) — *В. І. Лучицький* (регіональна та генетична петрологія), *М. І. Безбородько* (регіональна та генетична петрологія), *І. С. Усенко* (регіональна та генетична петрологія), *Л. Г. Ткачук* (регіональна та генетична петрологія), І. Б. Щербаков (регіональна та генетична петрологія), К. Ю. Єсипчук (регіональна та генетична петрологія), Ю. М. Колесник (генетична петрологія), С. Г. Кривдік (регіональна та генетична петрологія); В. О. Курепін (генетична петрологія), Б. Г. Яковлєв (регіональна та генетична петрологія).

3. Ізотопна геохімія та геохронологія докембрію (геохімія процесів породо- та рудоутворення) — *М. П. Семененко* (геохронологія докембрію), *Є. С. Бурксер* (ізотопна геохімія), *М. П. Щербак* (геохронологія докембрію), Г. В. Артеменко (геохронологія докембрію),

В. Ю. Ветштейн (геохімія ізотопів), О. М. Пономаренко (геохронологія докембрію), Л. М. Степанюк (геохронологія докембрію).

4. Рудоутворення (геологія родовищ та металогенія) — *М. П. Семененко* (рудоутворення), *Я. М. Бєлєвцев* (рудоутворення), В. М. Загнітко (рудоутворення), О. М. Донською (рудоутворення), О. В. Ємець (рудоутворення), Д. М. Щербак (рудоутворення).

5. Пошукова та екологічна геохімія — *Е. Я. Жовинський* (пошукова та екологічна геохімія), Б. Ф. Міцкевич (регіональна геохімія), С. В. Нечаєв (регіональна геохімія), А. І. Самчук (екологічна геохімія), І. В. Кураєва (екологічна геохімія).

Значний внесок в розвиток вказаних вище напрямів зробили кандидати наук Є. М. Бартницький, В. Л. Бойко, М. М. Багмут, В. М. Бугаєнко, С. В. Геворк'ян, О. С. Єгоров, В. П. Іваницький, А. М. Калініченко, Г. Л. Кравченко, О. А. Красильщикова, Г. О. Кульчицька, І. К. Латиш, І. П. Лугова, Т. М. Лупашко, В. І. Манічев, В. С. Мельников, В. С. Монахов, Е. О. Нікуліна, В. І. Орса, А. Б. Островська, М. А. Пластиніна, В. М. Скобелєв, Ю. Я. Сущик, В. І. Сьомка, Л. Л. Томурко, В. М. Хоменко, Д. С. Черниш, Л. В. Шумлянський, С. М. Цимбал, О. О. Юшин та багато ін.

Редакційна колегія підкреслює, що в розвиток сучасних досліджень вказаних наукових шкіл суттєву лепту внесли не тільки науковці ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, а й вчені багатьох інших наукових установ НАН України, Геологічної служби та відповідних кафедр університетів України.

Головний редактор,
академік НАН України
М. П. Щербак

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

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. XX ст. Тут ми повинні згадати 1949 р., коли вийшла друком книга члена-кореспондента АН УРСР В. С. Соболєва "Введение в минералогию 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. Соболєва, 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 Сімферополі (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. відігравало 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 виверженних комплексів Західної Волині" (1960), "Мінералогія осадочних утворень Прикарпаття" (1962), "Минералогия Закарпатья" (1963), "Мінералогія Поділля" (1963), "Минералогия и генезис камерных пегматитов Волыни" (1973), "Минералогия Донецкого бассейна" (1975), "Минералогия Криворожского бассейна" (1977), "Минералогия Приазовья" (1981).

У цих працях детальному монографічному опису мінералів, які Євген Костянтинович 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 "Минералогия Криворожского бассейна" (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 залізорудних родовищ Криворізького басейну, прогнозування залізних руд на глибину та складання мінералого-технологічних карт родовищ, що розробляються.

Напрям регіонально-мінералогічних досліджень висвітлює також монографія "Минералогия железорудной формации Керченского бассейна" (Ю. Ю. Юрк, Є. Ф. Шнюков, Ю. С. Лебедєв 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), "Сущано-Пержанская зона — геология, минералогия, рудоносность" (С. В. Металіді, С. В. Нечаєв, 1983), "Марганцевые руды Украины" (Є. Ф. Шнюков та ін., 1993), "Скарны Украины" (С. В. Нечаєв, В. О. Сьомка, 1989). Найвагомішим здобутком регіонально-мінералогічних досліджень України кінця XX — початку XXI ст. є вихід у світ колективного довідника "Минералы Украины" (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).

Напрям 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. Венидиктов, Є. Б. Глеваський, О. М. Голуб та ін.), лужних польових шпатів (І. С. Усенко, Т. А. Рокачук, М. К. Крамаренко, В. І. Орса та ін.), гранатів (І. С. Усенко, Р. Я. Бєлєвцев, 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. XX 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 "Онтогения минералов и технологическая минералогия", 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 "Онтогенический метод в минералогии". Сутністю онтогенічного 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 онтогенічних 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 (ІГГГК 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 напрямку в Академії наук сприяла та обставина, що члени-кореспонденти АН УРСР В. С. Соболєв (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. Соболєв 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 напрямами: 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 кріокамер 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 загалу дослідників визначати температуру гомогенізації включень ($T_г$) з точністю ± (1–2) °С в інтервалі 20–600, інколи до 800 °С.

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, H_2O + +NaCl, H_2O + 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 занорішових 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 кріоспектроскопії. Розроблені методи привертають увагу мінералогів і геохіміків, які вивчають галогенні породи. Отримано перші вагомі 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. Виявилося, 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 Петриченком формується нова наукова школа з проблеми фізико-хімічних умов формування галогенних відкладів. З 1984 р. він очолює відділ геохімії осадових товщ нафтогазоносних 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 ІГГГК 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. Калюжний, 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 °С 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 літієвих пегматитах Кіровоградського (Інгуло-Інгулецького) мегаблоку УЩ — плавлення і розтріскування включень піротину і появу у кварці апоскарнових кварцитів літієвого 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 верхньомантійні 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 найвагоміші 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: "Типоморфизм кварца, слюд и полевых шпатов в эндогенных образованиях" (В. І. Павлишин, 1983), "Типоморфизм микрокристаллов алмаза" (В. М. Квасниця та ін., 1999); "Полупроводниковые свойства галенитов и пиритов как критерий условий рудообразования" (Г. І. Князєв, 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}^{-}, прогнозної оцінки уранооносності альбітитів і берилієвоносності O_{Al}^{-}/Fe^{3+} (А. М. Таращан, Г. В. Кузнєцов, Т. М. Лупашко).

Нові дані про природу люмінесценції акцесорних мінералів (циркон, апатит, флюорит, циртоліт 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 рідкіснозем ельних 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 колірного різновиду цих мінералів, забарвлених певною комбінацією хромофорних центрів, з певним глибинним парагенезисом — мантійною 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-піропової 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 Брегтів, були саме кристали мінералів.

Класифікація мінералів на кристалохімічній основі була революційним імпульсом, який перетворив описову мінералогію початку XX 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. Соболєва "Введение в минералогию 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. Соболєвим 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 минералогию силикатов" Мінералогічний збірник Львівського університету почав друкувати цикл статей академіка М. В. Бєлова під загальною назвою "Очерки по структурной минералогии". 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. Гольдшмідта 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 кристалографічні 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. Бєлова, застосовуються монокристальні 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'явились 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 новостворе ному "Минералогическом журнале". Комплексне дослідження мікроізомофізму 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 монокристальної дифрактометрії проводяться протягом багатьох років у відділі регіональної і генетичної мінералогії. Удосконалювались і розроблялись нові монокристальні 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 невпорядкованості 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 багатокомпонентного 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. Гриднєвої, 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 $YBa_2Cu_3O_{7-в}$ 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 розшарованої 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 Гука, 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. Соболєв, О. С. Поваренних). Однак пальма першості в становленні та розвитку фізики мінералів в Україні беззаперечно належить організатору і першому директорові ІГФМ академіку М. П. Семененку. 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. Князєв).

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 IX 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 резонанси), 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 зворотну задачу — з'ясовувати 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 минералов" (1976) і А. М. Таращана "Люминесценция минералов" (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. Кузнєцов, 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 породоутворювальних 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 угрупувань 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 кімберлітових трубках Сибірської і Африканської платформ, внаслідок яких були встановлені типоморфні ознаки забарвлення цих мінералів з різних глибинних парагенезисів, у тому числі алмазпіропової фації глибинності, і на цій основі напрацьовано нові прогнозні 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 вмісних 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 родовищ корисних копалин, які не мають аналогів у світовій практиці, знайшли відображення у монографіях Г. В. Кузнєцова і А. М. Таращана "Люминесценция минералов гранитных пегматитов" (1988), О. А. Красильщикової, А. М. Таращана, 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 слаборозкристалізованих 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 "Радиоспектроскопия 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 напряму. 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. Рокачук, В. М. Хоменко, Т. М. Лупашко).

За допомогою методів інфрачервоної спектроскопії (*FTIR*) і люмінесценції вперше детально вивчено домішкові і структурні дефекти в розсипних 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. Єремеєв 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. Кушеєвим, 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 напрямами: 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 наук 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 рудопроявів 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 рудопроявів 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 рудопроявів 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 пересіченому 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), баделеїту 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), фенакіту 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 кімберлітів 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 кімберлітів (З. В. Бартошинський, В. М. Квасниця); показано, що у більшості випадків морфологія мінералів-в'язнів алмазу індукована мінералом-господарем. Проте в рідкісних випадках мінерали-включення 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 кімберлітів 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. Соболєв. У його класичній роботі "Введение в минералогию 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 багатокомпонентних силікатних систем члена-кореспондента АН УРСР А. С. Бережного. У 1969 р. відділ перейшов у створений Інститут геохімії та фізики мінералів. Напрямок 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 екзоклавного 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 $CaO—MgO—FeO—Fe_2O_3—Cr_2O_3—Al_2O_3—ZrO_2—TiO_2—SiO_2$, 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 летких компонентів. Результати критичного аналізу і уточнення термодинамічних властивостей мінералів та компонентів флюїду системи Fe — Mg — Si — C — O — H — 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 железистих кварцитов" (1973). Разом з В. В. Радчуком проведено експериментальне дослідження термодинамічної стійкості грюнериту та доломіту, фазових рівноваг у системі $FeO — SiO_2 — H_2O — CO_2$ і запропоновано термодинамічну модель метаморфізму сидеритових залізистих кварцитів.

У системі $SiO_2 — H_2O$ 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 кремезема 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. Бєлєвцева, 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. Бєлєвцев, 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. Білобрив, 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. Кадурінимтаіншимидослідниками. Запропоновано методику кількісного визначення мінерального складу каменів, зокрема в апатит-струвітових, фосфат-оксалатовихтаурат-оксалатовихутвореннях (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 імплантати, 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 імплантатів з наперед заданими властивостями. На замовлення Наукового технологічного центру України (НТЦУ), який створено США та країнами ЄС, виконано дослідження процесів асиміляції матеріалів імплантатів 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 імплантатів на нанорозмірному рівні та оптимізувати технології створення імплантатів з наперед заданими властивостями (О. Б. Брик, В. А. Дубок, Л. Г. Розенфельд). Виконані дослідження стали фізичною основою для створення нового покоління імплантатів, 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 наноутворення 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 наноутворень, 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. Алєксєєвої "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. Соботовичу, 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. Соботовичем, 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. Соботовича "Изотопы свинца в геохимии" (1970), "Изотопная космохимия" (1974) та "Ранняя история Земли" (1984). Крім наукових досліджень, М. П. Семененко та Е. В. Соботович 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 вияснити 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. Соботович, В. П. Семененко, 1984, 1985), "Метеориты Украины" (В. П. Семененко та ін., 1987). В цей же період захищені докторська дисертація В. П. Семененко "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 космоекології 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 "космоекології", яка вивчає космос з точки зору його практичної цінності для людства (В. П. Семененко, Е. В. Соботович, 2001). Вперше в практиці мінералогічних і космохімічних досліджень пріоритет належить космоекологічній 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 хімікомінералогічними особливостями наближаються до мінеральної складової комет (V. P. Semenenko et al., 2005).

Сьогодні відділ космоекології 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 напряму 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. XX 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. Кузнєцова 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 прогнозні 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 — Ta, Nb, Be, Li, Cs (за люмінесцентними характеристиками породоутворювальних 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 Волыни" (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. Мацуя 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 проілюструвала 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, ґрунтовного 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 мінералогогенетичної 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. Статья посвящена 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 sice the time of formaion of the Ukrainian Academy of Sciences in 1918. Main achievements of scientists from NAS of Ukraine in varions fields of mineralogy such as regional and genetic mineralogy, crystallochemistry and physics of minerals, crystallomorphology, biomineralogy, experimental, space and applied mineralogy are briefly discussed. Contribution of Ukrainian scientists to development of the world mineralogical science has been emphasized.

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

УДК 552.08 (477)

К. Ю. Єсипчук, С. Г. Кривдік

Петрологічні дослідження в Україні: досягнення останніх десятиліть та нагальні проблеми

Викладено основні досягнення за останні 30–35 років українських геологів, в першу чергу — наукових працівників ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України в області петрології. Висвітлені такі проблеми: 1 — метаморфізм, співвідношення грануліто-гнейсових і граніт-зеленокам'яних терейнів; 2 — чарнокіти; 3 — гранітоутворення та гранітоїдні формації; 4 — анортозит-рапаківігранітна формація; 5 — лужні породи; 6 — коматиїти; 7 — санукітоїди; 8 — метасоматоз; 9 — породоутворювальні та акцесорні мінерали; 10 — формаційний аналіз, петрологія та стратиграфія докембрію; 11 — фанерозойський магматизм; 12 — магматизм морського та океанічного дна; 13 — деякі нагальні проблеми.

Вступ. У назві нашого Інституту — і попередньому ("... геохімії і фізики мінералів"), і сучасному ("... геохімії, мінералогії та рудоутворення") слово "петрографія" або "петрологія" відсутнє. Хоча і засновник Інституту та його перший директор академік М. П. Семененко, і його наступник — академік М. П. Щербак залишаються перш за все петрографами. Може з їхнього боку це було і справедливо, бо не слід випинати своє головне уподобання. Люди, спеціалісти-геологи або, як зараз люблять говорити — "народ", розберуться.

Отже, спробуємо і ми разом з читачами розібратися, що ж за останні 30–40 років (а це час існування Інституту) зробили наші петрографи чи петрологи.

1. Метаморфізм. Співвідношення грануліто-гнейсових і граніт-зеленокам'яних терейнів. На території УЩ відомі всі фації регіонального метаморфізму (від зеленосланцевої до високогранулітової), а в екзоконтактах габроанортозит-рапаківігранітних плутонів спостерігаються прояви контактового метаморфізму. За латеральним розповсюдженням тут розрізняють ареальний (площадний) та зональний (локальний) метаморфізм, а за направленістю його розвитку — прогресивний і регресивний. Вивченню метаморфізму порід УЩ присвячено багато наукових праць, а результати підсумовані у декількох монографіях (1982).

Слід згадати, що перший суттєвий внесок у розробку теорії метаморфічних процесів зробив М. П. Семененко (1966), уклавши єдину класифікацію метаморфічних гірських порід. Він обґрунтував безпідставність гіпотези глибинних поясів регіонального метаморфізму і розвинув нове уявлення про метаморфізм як локальний процес, що проявляється тільки в рухливих зонах земної кори у зв'язку з привнесенням теплової енергії глибинними магматичними інтрузіями та висхідними флюїдними потоками. Під керівництвом та за безпосередньої участі М. П. Семененка проведено вивчення петрографії і рудоносності метаморфічних осадово-вулканогенних товщ та магматичних комплексів, що складають архейські граніт-зеленокам'яні пояси в центральній (середньопридніпровській) частині УЩ (1982).

Петрологами та експериментаторами Інституту визначені термодинамічні

© К. Ю. Єсипчук, С. Г. Кривдік, 2008

константи мінералів, що кристалізуються за високих значень тиску і температури, необхідні для фізико-хімічного аналізу мінеральних рівноваг у залізистих, карбонатних, ультраосновних та глиноземистих породах. Розроблені вдосконалені варіанти геологічних термометрів і барометрів для ультраосновних і деяких кислих порід. Вони забезпечують надійну екстраполяцію на природні парагенезиси умов мінеральних рівноваг, одержаних експериментально в простих хімічних системах. Зокрема, проведений з використанням таких термометрів і барометрів розрахунок *PT*-умов кристалізації мінеральних включень в алмазах показав, що існує певна вікова еволюція їх хімічного складу, зумовлена зниженням загальної температури мантії з часом.

В Інституті розроблено і запатентовано методику визначення глибинності формування гірських порід за складом вмісних піропів (Ю. М. Колесник), яка дає змогу вивчати особливості складу мантії під областями, де поки що не виявлені магматичні породи з глибинними ксенолітами. Проведене за такою методикою вивчення піропів із неогенових відкладів Середнього Побужжя показало, що в цьому районі літосфера містить деплетовані гранатові перидотити.

С. М. Цимбал зі співавторами встановили (2007), що верхня мантія під УЩ неоднорідна за складом як по латералі, так і по вертикалі. Ця неоднорідність зумовлена диференціацією і деплетацією верхньої мантії ще під час її формування, а також інтенсивним перетворенням вже деплетованої мантії переважно лерцолітового складу під впливом флюїдів глибинного походження, що супроводжувалося її плавленням і збагаченням некогерентними елементами. Водночас високотемпературний (понад 1100–1200 °С) метасоматоз мантійного субстрату проявлений лише в районах, де відомі й інші лужно-ультраосновні породи. Значно ширше у верхній мантії проявлений порівняно низькотемпературний (900–1100 °С) метасоматоз ("флогопітового типу"). Геохімічні ознаки його впливу несуть багато мантійних ксенолітів і ксенокристи, а також кімберліти.

Встановлено, що під Середньопридніпровським, Подольським, Бузько-Росинським і Волинським мегаблоками переважає деплетована верхня мантія, а під Приазовським, Кіровоградським та, ймовірно, під західною частиною Волинського мегаблоку — інтенсивно метасоматизована.

На основі визначень ізотопного віку цирконів та інших мінералів із метаморфічних та магматичних порід виділені основні епохи метаморфізму в докембрії УЩ (Щербак та ін., 1987). Вивчені стабільні ізотопи в магнетитах, карбонатах і сульфідах із метаморфічних порід (Загнітко, Лугова, 1989; Щербак та ін., 1981), проведені дослідження петрографії залізистих і карбонатних порід (Мельник, 1986; Половко та ін., 1975), вивчені термодинамічні умови та просторовий розподіл фацій регіонального метаморфізму і метаморфічних формацій (Усенко та ін., 1982), складено карту фацій регіонального метаморфізму УЩ. У межах розвитку осадово-вулканогенних товщ Криворіжжя і Середнього Придніпров'я простежено низько- і середньотемпературну прогресивну метаморфічну зональність (Р. Бєлєвцев, 1982). Одержано нові дані з петрології та формаційного розчленування метаморфічних порід гранулітової фації (Р. Бєлєвцев та ін., 1986; Венідіктов, 1986), складено карту метаморфічних і гранітоїдних формацій УЩ. Проведено дослідження метаморфізму залізисто-кременистих формацій докембрію Східно-Європейської платформи. Встановлено, що найбільш продуктивними на залізні руди є формації мезо-неоархейського та палеопротерозойського віку, породи яких зазнали впливу прогресивного зонального та середньотемпературного регіонального метаморфізму.

Значна увага приділяється вивченню кінетики метаморфізму, перш за все дифузійному масопереносу (Р. Бєлєвцев та ін., 2001). Проведене детальне дослідження хімічної зональності низько- і середньотем-

пературних гранатів із сланців Кривбасу і Середнього Придніпров'я, що дозволило встановити *PT*-умови та тривалість прогресивного етапу метаморфізму. Розроблено уявлення про флюїдні конвективні і дифузійні потоки калію та інших компонентів за накладеного гранітоутворення. У гранулітових комплексах встановлено дифузійну метаморфічну зональність на контактах найдавніших ендербіто-гнейсів та мафіт-ультрамафітових дайок. Її наявність дозволяє визначити джерело тепла під час метаморфічних перетворень та їх тривалість. Проведено вивчення метаморфізму порід, розкритих Криворізькою надглибокою свердловиною.

Однією зі загальносвітових проблем докембрійської геології є просторове та вікове співвідношення грануліто-гнейсових та граніт-зеленокам'яних терейнів, дуже добре представлених на УЩ. Українські петрографи обстоюють дві гіпотези. Згідно з першою, у всіх докембрійських розрізах земної кори спостерігається гранулітовий фундамент, перекритий утвореннями амфіболітової і зеленосланцевої фацій, представленими граніт-зеленокам'яними або граніто-гнейсовими товщами (Щербаков, 2005). Отже, згідно з такими уявленнями гранулітові товщі є древнішими. Просторове їх сучасне розповсюдження визначене лише глибиною ерозійного зрізу. Але це далеко не завжди підтверджується результатами визначення віку порід за допомогою ізотопних методів.

За іншою гіпотезою, яку серед українських петрографів розвиває К. Ю. Єсипчук (2000), грануліто-гнейсові і граніт-зеленокам'яні терейни можуть бути як різно- так одновіковими. В останньому випадку їх взаємне просторове розташування пов'язано з розміщенням та розмірами конвективних ґраток у верхній мантії. В зоні висхідного сегменту сусідніх конвективних ґраток утворюється мантійний плюм, а в його покрівлі у порівняно малопотужній літосфері виникає зона розтягування та рифтоутворення. Тут і формуються зеленокам'яні пояси. Над нисхідним сегментом відбувається просідання та скупчування літосфери, формується зона стискання й інтенсивного прогріву, що й веде до формування грануліто-гнейсового поясу.

2. Проблема чарнокітоїдів. Проблемою чарнокітоїдів (ендербітів, чарнокітів) та інших порід гранулітової фації займалися майже всі провідні петрологи України та колишнього СРСР, які досліджували УЩ (М. І. Безбородько, В. І. Лучицький, Л. Г. Ткачук, М. П. Семененко, І. С. Усенко, Ю. Ір. Половинкіна, Е. Б. Наливкіна, І. М. Лісна та ін.) Очевидно, найбільш вагомий внесок у вирішення цієї проблеми вніс І. Б. Щербаков (2005, 1992). Якщо не розглядалися погляди на генезис чарнокітоїдів (магматичний, метасоматичний та ін.), то найскладнішим було питання про геологічні умови залягання та формування цих порід. Згідно з класичними (канонічними) концепціями, породи гранулітової фації метаморфізму формуються на значній глибині (абісальна фація) за великих значень тиску й температури і складають нижній цоколь земної кори; під ними залягають еклогіти. Проте деякі петрологи (наприклад, М. П. Семененко (1995), Ю. Ір. Половинкіна та ін.) вважали, що для формування гранулітів (включаючи чарнокітоїди) необхідні приток тепла, привнесення деяких компонентів (Na_2O, K_2O, SiO_2) і дегідратація порід, що метаморфізуються.

Останнім часом намічається повернення до класичних поглядів на генезис чарнокітоїдів. Ендербіти розглядають як реститові породи після вилучення з метаморфізованого субстрату евтектоїдних виплавок гранітного складу (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). У такому аспекті ендербіти і грануліти розглядаються як нижня частина земної кори. Подібні погляди частково поділяв І. Б. Щербаков (2005) і дотримується один з авторів цієї статті. Правда треба зважати на те, що є докази беззаперечного існування інтрузивних чарнокітоїдів (наприклад, Букинський масив).

Дійсно, ендербіти та чарнокіти поширені

в найбільш еродованих ділянках різних геоблоків УЩ (Дністровсько-Бузькому та південній частині Приазовського). За даними І. Б. Щербакова, *PT*-параметри кристалізації ендербітів гайворонського комплексу становлять 7–8 кбар і 900–950 °С, для ташлицького та літинського комплексів — 4,3–5,5 кбар, 650–725 °С, що відповідає глибині 15–25 км. Подібні дані були отримані В. О. Курепіним (2003) за плагіоклаз-гіперстен-кордієритовим геобарометром. Ще більший тиск (10–11 кбар) було розраховано (Венідіктов, 1986) для метапелітових порід гранулітової фації Нижнього Побужжя за вмістом піропового міналу (42 %) в гранаті. Отже, як би критично не ставитись до таких цифр, беззаперечним є факт, що грануліти формуються в абісальних умовах земної кори.

Нещодавно встановлено (Кривдік та ін., 2006), що архейські ендербіти мають більш магнезіальний склад піроксенів та слюд, ніж їх протерозойські аналоги. Низький вміст рідкісноземельних елементів (РЗЕ) у ендербітах за досить високого значення концентрації цирконію було пояснено реститовою природою цих порід.

Більш глибинні породи — еклогіти та так звані основні грануліти (з гранатом та жадеїтвмісним піроксеном) — в межах УЩ не виявлені, хоча мінерали таких порід трапляються в осадових породах.

Ендербіти виявилися найдревнішими породами УЩ: у гайворонському комплексі цих порід виявлено цирконі віком до 3650 млн рр. (Бібікова, 2004), дещо молодшими вважаються ендербіти новопавлівського комплексу — 3,4 млрд рр. Щодо віку однойменних порід літинського комплексу існують розходження: від 2,0 до 2,8 млрд рр. Молодшими (~ 2,0 млрд рр.) є майже всі чарнокіти УЩ та ендербіти хлібодарівського комплексу, а також відкриті у кар'єрі с. Голосків (Верхнє Побужжя). Останні деякі дослідники відносять до бердичівського комплексу. Для ендербітів ташлицького комплексу отримано дату 2,56 млрд рр. (проби І. Б. Щербакова).

Отже, можна виділити три головні етапи формування чарнокітоїдів УЩ: архейський (3,4–3,7 та 2,6–2,8) і протерозойський (~ 2,0 млрд рр.).

Значні розбіжності у датуваннях за цирконом в ендербітах (перш за все літинського комплексу) можна пояснити наявністю реститового (древнього) та новоутвореного цирконів у цих породах.

Більш молодих (рифейських, палеозойських) чарнокітоїдів у межах УЩ не виявлено, як це має місце, наприклад, в інших докембрійських щитах та платформах (Антарктида, Індія, Балтійський та Канадський щити). Принагідно зауважимо, що у внутрішній частині УЩ на сьогодні невідомі фанерозойські магматичні породи (наймолодші, очевидно, рідкіснометалеві граніти та рапаківі віком 1,75–1,80 млрд рр.).

3. Гранітоутворення та гранітоїдні формації. УЩ, на відміну від більшості інших докембрійських щитів всіх континентів, характеризується дуже широким розвитком і різноманітністю гранітоїдів. Не випадково проблемі гранітоутворення українські петрологи приділяли і постійно приділяють пильну увагу. Особливо плідними у цьому відношенні були останні 30–35 років.

Ще у 1973 р. колективом авторів на чолі з І. С. Усенком опубліковано ґрунтовну статтю "Геосинклінальні гранітоїди Українського щита", де представлено першу класифікацію докембрійських гранітоїдів на формаційній основі. Виділені чотири формаційні серії: гранодіоритова, плагіогранітова, нормальних гранітів та лейкократових і аплітоїдних гранітів. У кожній серії виділено глибинні та середньоглибинні фації. За віком вони поділяються на докембрій I (2700–3500 млн рр.), докембрій II (2700–2000), докембрій III (2000–1700) та докембрій IV (молодше 1700 млн рр.). За генезисом серед гранітоїдів виділені метасоматичні, автохтонні та алохтонні магматичні. Всі гранітоїди вважалися геосинклінальними коровими утвореннями, тісно пов'язаними просторово та генетично з вмісними гнейсо-мігматитовими товщами.

І. Б. Щербаков (1971) за кілька років до широко відомої статті Б. Чеппела та А. Уайта

(1974) про виділення *i*- та *s*-типів гранітоїдів запропонував розділити їх на дві групи залежно від складу метаморфічного субстрату, по якому вони утворилися: апобазитові та апопелітові. Розроблено комплекс ознак для їх ідентифікації, зокрема так званий біотитовий метод. Були обґрунтовані головні ознаки процесів прогресивного та регресивного гранітоутворення і принципи формаційного розчленування гранітоїдів.

Значною мірою деталізовано схему класифікації гранітоїдних формацій УЩ з використанням комплексу геологічних, петрологічних і геохімічних критеріїв (Єсипчук, 1988). Відповідно до неї в історії формування докембрійської земної кори виділено три послідовні стадії гранітоутворення: ендербіт-плагіогранітна, чарнокіт-гранітна та граносієніт-рапаківігранітна.

Подальшого розвитку набули уявлення про те, що провідним гранітоутворювальним процесом є не метасоматоз чи метаморфізм, а магматизм. У залежності від рівня генерації вихідних магм гранітоїди поділені на палінгенно-анатектичні (магма генерувалася у граніто-гнейсовому шарі земної кори і кристалізувалася тут же на рівні генерації чи після незначного переміщення) та інтрузивно-магматичні (магма генерувалася у грануліто-базитовому шарі, а кристалізувалася після диференціації і переміщення у верхню частину земної кори). Інтрузивно-магматичний генезис мають всі гранітоїди граносієніт-рапаківігранітної стадії (три формації: сублужних гранітоїдів, анортозит-рапаківігранітна та рідкіснометалевих лейкогранітів). Серед гранітоїдів чарнокіт-гранітної стадії різко переважають палінгенно-анатектичні (сім формацій: ремобілізованих автохтонних плагіогранітів, ремобілізованих автохтонних чарнокітів, регресивних діоритів, гранодіоритів і гранітів, ремобілізованих високоглиноземистих гранітів, прогресивних плагіомікроклінових гранітів, регресивних плагіомікроклінових гранітів та лейкократових суттєво мікроклінових гранітів); три формації мають інтрузивно-магматичний генезис (інтрузивних діоритів і плагіогранітів; інтрузивних чарнокітоїдів, трахітоїдних і чорнокварцових гранітів; інтрузивних діоритів, гранодіоритів і гранітів). Генезис гранітоїдів ендербіт-плагіогранітної стадії (формації ендербітів, тоналітів і плагіогранітів) проблематичний, хоча є певні докази їх інтрузивно-магматичного походження.

Геохімічне моделювання і вміст рідкісноземельних елементів та інших елементів-домішок вказують на те, що інтрузивні гранітоїди є продуктами кристалізації корових магм, що утворились під час парціального плавлення корового субстрату. Різний склад гранітоїдної магми визначається перш за все складом субстрату, а також термодинамічним режимом парціального плавлення та складом глибинних магм і мантійних флюїдів, які викликали це плавлення. Проте велика різноманітність цих формацій зумовлена не тільки означеними чинниками, а й умовами становлення плутонів, асиміляцією гранітною магмою вмісних порід та різним ступенем кристалізаційної і, особливо, еманаційної диференціації. Остання найбільшою мірою сприяла розкриттю можливості до рудогенерації гранітних магм та породжених ними комплексів, у складі яких найбільш потенційно рудоносними були найпізніші фази, що кристалізувалися із розплавів, збагачених леткими компонентами (Єсипчук та ін., 1990).

На основі ретельного аналізу геологічних, петрографічних, мінералогічних та геохімічних даних розроблено схему еволюції процесів гранітоутворення в граніт-зеленокам'яній області Середнього Придніпров'я (Орса, 1988). Обґрунтовано уявлення про інфра- та супракрустальний рівні цих процесів та показано узгодженість проявів кислого магматизму в плутонічних та ефузивних фаціях з формуванням древніх вулкано-плутонічних асоціацій.

4. Анортозит-рапаківігранітна формація в Україні представлена двома відомими плутонами — Коростенським і Корсунь-Новомиргородським. З рапаківіподібних гранітів складається слабо вивчений Дрокійський (Реутський або Камінський)

масив у Придністров'ї (Молдова). Як вважають деякі дослідники (Кармазін, 1970), до поглядів яких приєднуються також автори даної публікації, Південно-Кальчицький масив у Приазов'ї є граніт-сієнітовим аналогом таких плутонів. Не зупиняючись докладно на доказах цих припущень, зауважимо лише, що у Південно-Кальчицькому масиві наявні практично всі типи порід, властиві відомим анортозит-рапаківігранітним плутонам УЩ (АРГП УЩ) (Кривдік, Ткачук, 1990). Різниця полягає лише в кількісному співвідношенні цих типів порід та деяких особливостях їхнього мінерального та хімічного складу. Так, аналогами анортозитів у плутонах можна вважати андезиніти в Південно-Кальчицькому масиві (у західній літературі такі породи називаються андезиновими анортозитами), а граніти останнього принципово не відрізняються від гранітів групи рапаківі (два польових шпати з перевагою калішпату, високозалізисті темноколірні мінерали, збагаченість літофільними некогерентними елементами). У цьому масиві зрідка трапляються габронорити (як ксеноліти в сієнітах), які є типовими породами АРГП УЩ. Фаяліт-геденбергітові сієніти масиву подібні до гранітів та монцонітів з фаялітом та фероавгітом АРГП. До того ж, як буде показано далі, АРГП УЩ супроводжуються подібними та іншими сієнітами. Як в АРГП УЩ, так і в Південно-Кальчицькому масиві наявні специфічні рудні (титан-фосфор) габроїди.

Крім того, Південно-Кальчицький масив є близьким за віком (1,8 млрд рр.) до Коростенського (1,74–1,79) та Корсунь-Новомиргородського (1,75 млрд рр., граніти рапаківі) плутонів. Принагідно відзначимо, що АРГП УЩ є, очевидно, одними з найдревніших серед подібних плутонів у інших регіонах. Вони значно древніші, ніж АРГП Балтійського щита (1,5–1,6 млрд рр.), навіть подібні до АРГП УЩ і розташовані порівняно недалеко комплекси (масиви) Мазури та Сувалки (Польща) є значно молодшими (1,5–1,56 млрд рр.). Такого ж віку (1,77 млрд рр.), як і коростенські, виявлені граніти рапаківі в центральній Бразилії, де є і молодші (1,57–1,58 млрд рр.) граніти такого ж типу.

Схоже на те, що в напрямку від північного заходу (Коростенський плутон) до південного сходу (Південно-Кальчицький масив) вік порід АРГП УЩ дещо збільшується (від 1,7 до 1,8 млрд рр.).

Можна припустити, що в межах УЩ є древніші АРГП, аналогами яких можуть бути Кальміуський та Єланчицький масиви, складені переважно граносієнітами та гранітами (згадуються габроїди), для яких властиві високозалізисті темноколірні мінерали (в тому числі — фаяліт) і підвищений вміст циркону. На даний час породи названих масивів віднесено (можливо, не зовсім обґрунтовано) до хлібодарівського комплексу віком ~ 2,0 млрд рр. Проте власне Хлібодарівський масив чи комплекс, принаймні в межах та околицях однойменного кар'єру, представлений чарнокітами та ендербітами віком ~ 2,0 млрд рр.

Анортозит-рапаківігранітним плутонам присвячена численна література, проте багато питань петрогенезису цієї асоціації порід залишаються невирішеними. Деякі дослідники вважають асоціацію основних порід (анортозити, габронорити) та гранітів групи рапаківі не комагматичною. Специфічність цих гранітів свідчить, на думку авторів, про генетичну (сингенетичну) спорідненість всіх порід названої формації, хоча джерела їх походження можуть бути різними. Згідно з ізотопно-геохімічними даними, основні породи мають глибинну природу, тоді як для гранітів рапаківі значна (або переважна) частина речовини має корове походження. Найбільш вдалою, очевидно, є гіпотеза В. С. Соболєва (1947), яка узгоджує суперечливі погляди на петрогенезис АРГП: глибинна базальтова магма асимілювала (розплавила) значну кількість корового гранітоїдного матеріалу, а в процесі подальшої кристалізаційної диференціації такої мішаної магми сформувалися основні та кислі (і частково середні) породи АРГП.

Не розглядаючи інші гіпотези та петрогенетичні моделі АРГП, коротко зупинимося на тих особливостях порід формації, які є аналогічними у всіх регіонах їхнього розвитку, та відзначимо специфічні для УЩ.

Серед подібних або аналогічних особливостей АРГП всіх регіонів відзначимо наступні: 1 — бімодальність — найбільш поширеними є основні породи та граніти, підпорядковане значення мають породи середнього складу (кварцові монцоніти); 2 — значна (або переважна) поширеність анортозитів серед основних порід, останні найчастіше представлені габроноритами; 3 — значна диференційованість цих основних порід, яка проявилася, перш за все, у досить високому значенні залізистості темноколірних мінералів (навіть у так званих перидотитах), низькому вмісті Cr і Ni за підвищеного — Ti і P; 4 — ще чіткіше проявляється диференційованість у гранітах групи рапаківі, які характеризуються наявністю таких високозалізистих мінералів, як фаяліт, фероавгіт, гастингсит, аніт. У цих гранітах зафіксований флюорит, каситерит, а в деяких гранітах Коростенського плутону (наприклад, села Березівка, Головине) один з авторів спостерігав у шліфах ортит, бритоліт, чевкініт. Загалом, граніти групи рапаківі вважають геохімічно спеціалізованими на такі літофільні некогерентні рідкісні метали, як TR, Y, Sn, Be, Nb, Ta. Ймовірно, з гранітами рапаківі тісно пов'язані (або є їхніми пізнішими диференціатами) такі рідкіснометалеві граніти, як лезніківські, руськополянські, пержанські, катеринівські та кам'яномогильські в Приазов'ї.

Наведемо ще деякі міркування стосовно бімодальності АРГП: кількісне співвідношення основних порід та гранітів у різних плутонах варіабельне (в деяких з них основні породи не згадуються). Оскільки основні породи та граніти в АРГП, згідно з деякими геологічними та геофізичними даними, залягають як субгоризонтальні пластини, що чергуються між собою, то залежно від рівня ерозійного зрізу будуть розкриватися (відслонюватися) ті чи інші типи порід.

Аналіз опублікованих даних з АРГП Східно-Європейської платформи показує, що найбільш магнезіальні (більш примітивні) породи основного та ультраосновного (за низьким вмістом кремнезему) складу та мінерали з них виявлено в Ризькому плутоні, тоді як найбільш залізисті — у Корсунь-Новомиргородському. Ще більш залізисті аналогічні (основні) породи і мінерали з них виявлено в Південно-Кальчицькому масиві (Кривдік, Ткачук, 1990). Висока залізистість основних порід та мінералів у породах в АРГП до певної міри споріднюють їх з толеїтовими серіями. Проте великі і класичні диференційовані інтрузії, що для них вихідними вважають толеїтові магми (Уэйнджер, Браун, 1970) (Бушвельд, Скергаард), істотно відмінні від АРГП. Можливими вихідними розплавами для АРГП вважають високоглиноземисті базальти або магми, що відповідають за складом лабрадоритовим порфіритам о. Хогланд і брили Руохулампі та норитам Салмінського плутону.

Тепер коротко оглянемо відмінні особливості АРГП УЩ (включно з Південно-Кальчицьким масивом). Перш за все вони розташовуються субпаралельно Дніпровсько-Донецькій западині (ДДЗ), на північно-східному краї УЩ. Можливо, АРГП УЩ та ДДЗ починали формуватися приблизно одночасно. Ці події можуть фіксувати початок деструкції та тектономагматичної активізації південно-західної частини Східно-Європейської платформи.

Як відзначалося вище, є деякі підстави вважати, що формування АРГП (1,8, а, можливо, 2,0 млрд рр. тому) почалося спочатку в південно-східній приазовській частині УЩ, а завершилося (1,7 млрд рр. тому) в його північно-західній частині (Коростенський плутон). Ще молодшими є Ризький та інші плутони Балтійського щита. Причину такої часової "міграції" не з'ясовано. Деякі дослідники (Оровецький, 1990) припускають наявність так званої гарячої точки, подібно до гавайських вулканів та Галапагоської вулканічної провінції (які

витягуються в лінію послідовно за віком).

Як відзначено вище, АРГП УЩ загалом характеризуються підвищеною залізистістю основних порід та мінералів з них. Якщо за залізистістю породи і мінерали у Коростенському плутоні не сильно відрізняються від таких у АРГП інших регіонів, то в Корсунь-Новомиргородському плутоні, а особливо в Південно-Кальчицькому масиві, ці відмінності суттєві або навіть разючі. Так, наприклад, піроксени (авгіт та піжоніт) з габронориту (ксеноліт в сієніті) Південно-Кальчицького масиву є найбільш залізистими (f = 50 і 64 % в авгіті та піжоніті відповідно) порівняно з однойменними мінералами з однойменних порід у відомих АРГП. На Ca — Mg — Fe діаграмі Хесса ці піроксени розташовуються поряд з піроксенами таких залізистих порід, як монцоніти з АРГП інших регіонів.

Порівняння опублікованих та наявних у авторів результатів аналізів ільменіту з порід АРГП показує, що цей мінерал є найбільш стехіометричним і містить найменше MgO і, особливо, Fe_2O_3 за підвищеного вмісту MnO в досліджуваних плутонах УЩ. Тобто склад ільменіту корелює зі складом темноколірних мінералів: він є більш залізистим і менш окисненим (містить менше Fe_2O_3).

Розглянемо ще дві відмінні особливості АРГП УЩ: 1 — сієнітовий тренд їхньої еволюції, 2 — високу продуктивність цих плутонів на фосфатно-титанове зруденіння.

Якщо в АРГП інших регіонів встановлено незначне розповсюдження кварцових монцонітів, то в межах УЩ всі ці плутони супроводжуються як кварцовими монцонітами, так і кварцовими сієнітами і власне сієнітами. При цьому дослідники виділяють два типи сієнітів — двопольовошпатові з фаялітом, геденбергітом, гастингситом й анітом та егіринові. Останні відомі в Коростенському та Корсунь-Новомиргородському плутонах, а перші — у всіх АРГП УЩ. Схоже на те, що в напрямку від Коростенського через Корсунь-Новомиргородський плутон і до Південно-Кальчицького масиву відносна і абсолютна кількість сієнітів збільшуються. У Коростенському плутоні сієніти супроводжують Стремиргородське апатит-ільменітове родовище (Проскурін, 1984), в Корсунь-Новомиргородському — виявлено поле фаяліт-геденбергітових сієнітів на його південній окраїні (р-н Великої та Малої Висок), а в Південно-Кальчицькому масиві ці породи займають половину або й більшу частину його площі. Двопольовошпатові сієніти еволюціонують до моно- і лужнопольовошпатових, які можуть утворювати самостійні невеликі масиви (Давидківський, Яструбецький, Азовський). Водночас відбувається паралельне зростання концентрації таких несумісних рідкісних металів, як Zr, TR, Y, Nb та пониження Ba і Sr. У результаті це призводить до утворення багатих руд Zr, TR, Y (Азовське, Яструбецьке родовища). Наявність таких спеціалізованих на вказані рідкісні літофільні метали порід є специфічною особливістю металогенії УЩ.

АРГП УЩ, в порівнянні з такими інших регіонів, ймовірно, є найбільш продуктивними на титан-фосфатне (апатит, ільменіт, титаномагнетит) зруденіння. Щодо останнього, то багатим є Коростенський плутон, де відкрито вісім таких родовищ та рудопроявів (Стремигородське, Федорівське, Давидківське, Паромівське, Крапивнянське та ін.). При цьому виділено два головні типи зруденіння: габро-троктолітовий та істотно титановий (ільменітовий), норитовий. Рудопрояви та родовища першого типу кількісно переважають, серед них найвідоміші — Стремигородське, Федорівське та Давидківське, а прикладом другого типу може слугувати Носачівське (або Смілянське) в Корсунь-Новомиргородському плутоні. Причину розмежованості титан-фосфатного та власне титанового зруденіння не з'ясовано. Висловлено припущення, що зруденіння з апатитом пов'язане з більш лужними габроїдами (Кривдік та ін., 2007, 2008). Про це свідчить також наявність сієнітів в АРГП УЩ. Не заглиблюючись у деталі цієї проблеми, відзначимо, що в таких рудоносних

габроїдах, за аналогією з основними породами, спостерігається вища залізистість темноколірних мінералів у родовищах та рудопроявах АРГП УЩ на відміну від їхніх зарубіжних аналогів. До останніх, пов'язаних з АРГП, можна віднести Сувалки (Польща), а решта (найбільш відомі Телнес, Грейдер) просторово і генетично асоціюють з анортозит-чарнокітовими (мангеритовими) масивами. При цьому найбільш залізистими виявилися олівін і піроксен з рудних габроїдів Південно-Кальчицького масиву, а ільменіт з них майже такого ж складу, як і в гранітах рапаківі УЩ (низький вміст MgO та Fe_2O_3 і підвищений — MnO). Така ж висока залізистість властива і габроїдам цього масиву. Паралельно з підвищенням залізистості темноколірних мінералів відбувається зниження основності плагіоклазу, тобто чітко проявляється ефект кристалізаційного фракціювання.

Отже, в АРГП УЩ, в порівнянні з іншими регіонами, найчіткіше виражена титан-фосфорна металогенічна спеціалізація, а також сієнітовий тренд їхньої еволюції. Очевидно ці дві особливості взаємопов'язані. На даний час причини такої відмінності АРГП УЩ не з'ясовано. Одним з її чинників може бути значна еродованість АРГП УЩ. Найбільш еродованим можна вважати Південно-Кальчицький масив. Збільшення залізистості порід і темноколірних мінералів з глибиною ерозії встановлено і для порід лужно-ультраосновної формації, які розглядаються нижче. Так, наприклад, в карбонатитах Чернігівського масиву, який вважається одним з найбільш еродованих, найвищою є залізистість олівінів та піроксенів. Задовільного пояснення цьому феноменальному явищу немає. Є підстави припускати, що за абісальних умов кристалізації розплавів знижується фугітивність кисню, внаслідок чого залізо окиснюється і входить у двовалентному стані переважно в силікати, частково — в ільменіт та сульфіди. За умови масового виділення магнетиту залізистість розплаву знижується, а силікатів, відповідно, зростає, водночас збільшується частка незв'язаного (вільного) кремнезему, що розширює поле кристалізації гранітів. Зменшення кількості магнетиту або його відсутність, навпаки, призводить до збільшення вмісту силікатів і формування сієнітів, що ми спостерігаємо в абісальних АРГП УЩ. Частково це питання розглянуто одним з авторів раніше. Здійснено спробу застосувати для пояснення цього явища ефект Соре (Дубина, Кривдік, 2007). Можливо, в даному випадку діють ці обидва (або ще якісь інші) чинники глибинної (абісальної) кристалізації розплавів АРГП.

Отже, анортозит-рапаківігранітні плутони УЩ істотно відмінні від однойменних утворень інших докембрійських щитів та платформ. Їм належить значний внесок у мінерагенію України (п'єзокварцові пегматити, Zr, TR, Y, Nb, Be).

5. Лужні породи. Історія вивчення лужних порід УЩ охоплює більш ніж столітній період (перші публікації Й. Морозевича з'явилися в 1898 р.). Октябрський (раніше його називали Маріупольським) масив відомий як класичний інтрузив лужних порід, де вперше були виділені такі лужні породи, як маріуполіт, а з мінералів — тараміт. З цього ж масиву вперше Й. Морозевичем проаналізований нефелін, виведено його формулу (так званий нефелін Морозевича). Пізніше (1930–1970 рр.) до вивчення лужних порід Приазов'я долучились такі відомі петрологи, як Л. Ф. Айсберг, В. І. Лучицький, П. І. Лебедєв, І. Д. Царовський, М. О. Єлисеєв, Н. В. Бутурлінов.

Новим етапом в історії вивчення лужних порід можна вважати 1960–1980-ті рр., коли було відкрито карбонатити та пов'язані з ними лужні породи Чернігівської зони (Західне Приазов'я), а також лужні масиви в західній частині УЩ (Проскурівський, Антонівський).

Нині в межах УЩ відомо майже 40 масивів та проявів лужних порід і карбонатитів, включаючи пов'язані з ними лужні метасоматити — феніти. Найповніший їхній огляд зроблено в монографії С. Г. Кривдіка та В. І. Ткачука (1990), після виходу якої з'явились публікації з результатами вивчення нових

масивів цих порід, головні особливості яких коротко розглянуті С. Г. Кривдіком в низці статей.

Серед головних досягнень і цікавих моментів у дослідженні лужних порід УЩ слід визначити: формаційний аналіз; регіональну геохімічну неоднорідність як можливий наслідок різних умов їхнього формування; залежність мінерального та хімічного складу лужних порід від рівня ерозійного зрізу масивів.

Український щит — унікальна провінція докембрійського лужного магматизму. Переважна частина масивів і проявів лужних порід має протерозойський вік і тільки в Приазовському мегаблоці цього регіону наявні як протерозойські, так і палеозойські (девонські) лужні породи. Зауважимо, що навіть кімберліти, розташовані у внутрішній частині УЩ (район м. Кіровоград), мають протерозойський вік (1,8 млрд рр.), тоді як у Приазовській крайовій частині цього регіону кімберліти, а також деякі лужні масиви (Покрово-Киріївський, Зірка, Приморський, Маріупольський, б. Бережна) сформувалися в девоні.

Причини такої пасивності УЩ до фанерозойського лужного (а також базальтового і кімберлітового магматизму) не з'ясовані. В цьому відношенні УЩ відрізняється від інших подібних докембрійських щитів та платформ.

Виділяються дві головні й різновікові формації лужних порід УЩ: лужно-ультраосновна або карбонатитова (2,0–2,1) та габро-сієнітова (1,7–1,8 млрд рр.). Є деякі підстави для виділення лужно-гранітної формації, до якої можна віднести пержанські рибекітові та егіринові граніти. Крім того, є сублужні породи (сієніти) віком 2,8 млрд рр. у Старобогданівському (Мелітопольському) масиві (Артеменко, 1988), формаційну приналежність яких не з'ясовано. Проте ця картина формаційного аналізу ускладнюється ще й тим, що в деяких масивах (перш за все в Малотерсянському) встановлено два етапи формування (2,0 і 1,8 млрд рр.) і було висловлено припущення про двоформаційність цього масиву: рання лужно-ультраосновна з карбонатитами і пізня (головна) габро-сієнітова. Перша корелює з Чернігівським карбонатитовим масивом, а друга — синхронна з Октябрським.

Як відзначалося вище, під час розгляду анортозит-рапаківігранітних плутонів УЩ, з останніми просторово і генетично пов'язані масиви та прояви сієнітів (фаялітгеденбергітових з рідкісноземельною та цирконієвою мінералізацією та егіринові). Анортозит-рапаківігранітні плутони синхронні з масивами габро-сієнітової формації.

Вважається, що вихідні розплави виділених формацій лужних порід УЩ були різними за складом, як і механізми їхньої диференціації — кристалізаційне фракціювання для масивів габро-сієнітової формації і ліквація — для лужно-ультраосновної.

Після відкриття перших масивів лужно-ультраосновної формації в західній частині УЩ (Проскурівський, Антонівський) було виявлено чітку геохімічну відмінність однотипних лужних порід цих масивів від таких у Приазов'ї. Пізніші знахідки лужно-ультраосновних порід у цьому регіоні (Городницька та Глумчанська інтрузії, Покошівські дайки та ін.) продемонстрували ще більшу геохімічну контрастність порівнюваних порід. Так, у всіх лужно-ультраосновних породах західної частини УЩ виявлено аномально низькі (як для такого типу порід) значення вмісту титану, ніобію, танталу, цирконію, а у деяких проявах (Городницький, Глумчанський, Покошівський) ще й рідкісноземельних елементів. Висловлено два пояснення такої геохімічної контрастності лужно-ультраосновних порід Приазов'я і західної частини УЩ: 1 — вони формувалися за різних геодинамічних умов — рифтогенних у Приазов'ї та стиснення земної кори (колізія, субдукція) — у західній частині УЩ; 2 — різною інтенсивністю мантійного метасоматозу під час генерації лужних магм у Приазов'ї цей метасоматоз був потужним, а в західній частині УЩ — незначним і лужно-ультраосновні магми генерувалися переважно за рахунок незнач-

ного парціального плавлення мантійного субстрату. Можливо, обидва чинники взаємопов'язані.

Слід ще зазначити, що в лужно-ультраосновних породах Городницької, Глумчанської інтрузій та Покошівських дайок виявлено глибинні хромшпінеліди, в тому числі алмазоносної асоціації, а самі породи є найбільш примітивними (магнезіальними, недиференційованими, з низьким вмістом некогерентних елементів-домішок) з-поміж відомих порід такого типу.

Ще одну досить цікаву особливість речовинного складу було встановлено для порід лужно-ультраосновної формації УЩ. Ті масиви, які за геологічними та мінералого-петрологічними даними мають досить значний або глибокий ерозійний зріз (Чернігівський, Проскурівський, Антонівський), характеризуються підвищеною або навіть дуже високою (для такого типу комплексів) залізистістю мінералів і самих порід, тоді як в гіпабісальних інтрузіях (Городниця, Глумча, Покошівські дайки) ці породи мають магнезіальні парагенезиси (як це загалом властиво більшості карбонатитових комплексів світу). Вкажемо лише на деякі незвичні особливості мінерального складу: залізистість олівіну в карбонатитах Чернігівського масиву може досягти 70, частіше 20–50 %, тоді як у типових карбонатитах інших регіонів це зазвичай форстерит (залізистість ~ 10, інколи — до 15 %). Піроксен у Приазовських карбонатитах частіше представлений егірин-салітом або егірин-феросалітом, а в типових карбонатитах — діопсидом або егірином, егірин-діопсидом.

Подібна, але не так чітко виражена картина спостерігається і в анортозит-рапаківігранітних плутонах УЩ, як це згадано вище. На даний час це, на нашу думку, феноменальне явище важно пояснити з позицій найвідоміших петрогенетичних моделей (кристалізаційна диференціація, ліквація). Була спроба навіть використати для інтерпретації цього явища ефект Соре (Дубина, Кривдік, 2007), який не дуже популярний серед петрологів.

Отже, протерозойські лужні породи УЩ нерідко мають "нестандартні" мінералогічні та геохімічні особливості, що примушує замислитись над відповідністю наявних петрогенетичних моделей формування масивів цих порід або переглянути і вдосконалити їх чи запропонувати нові, оригінальні. Проте для цього необхідне поглиблене ізотопно-геохімічне дослідження (Sm-Nd, Rb-Sr системи, *ICP MS* тощо) лужних порід за допомогою сучасних прецизійних аналітичних приладів.

6. Проблема коматиїтів. Після відкриття Вільюнами в 1969 р. коматиїтів у Південній Африці, а пізніше — в Канаді, Австралії та інших регіонах, в Україні почався "коматиїтовий бум". Відомі фахівці М. П. Семененко, І. С. Усенко та деякі молоді на той час їхні колеги (О. М. Струєва, Е. О. Нікуліна) дотримувались звичного терміну пікрит і фактично не визнавали коматиїтів як таких. Правда слід зазначити, що І. С. Усенко ще в 1958 і 1959 р. відзначав більш магнезіальний склад архейських метавулканітів гранулітової фації (кристалосланців) Середнього Побужжя і вважав, що він тим самим передбачив відкриття коматиїтів. В той же час Л. Г. Данилович (1981) та О. Б. Фомін зі співавторами (1980, 1984) віднесли до коматиїтів більшість ультраосновних порід Побужжя та Середнього Придніпров'я. Гостра дискусія з цієї проблеми сприяла більш докладному вивченню ультраосновних порід УЩ. Не маючи змоги детальніше розкрити ці роботи, підкреслимо лише, що натепер можна вважати, що коматиїти (зі структурами спініфекс), безумовно, наявні в граніт-зеленокам'яних областях Придніпровського та західної частини Приазовського мегаблоків. Найбільш детально вони описані в публікаціях О. Б. Боброва зі співавторами (1991–2000) та Г. В. Артеменка (1988). Останнім вперше подано результати прецизійного аналізу вмісту рідкісних елементів у коматиїтах. Можливо, коматиїти є в складі вулкано-осадової товщі залізисто-кременистих порід південного заходу УЩ. Щодо решти

ультрабазитів УЩ, то значна частина з них являє собою диференційовані розшаровані інтрузії. Деякі з них (Капітанка, Липовеньки) містять пластові хромітові руди. Сульфідних родовищ нікелю і міді, характерних для коматиїтів Австралії та Канади, в цих породах не виявлено. Лише в їхніх корах вивітрювання формуються силікатні нікелеві руди.

Діагностика коматиїтів базується переважно на геологічних, петрографічних та петрохімічних даних. Враховуючи часті вторинні та метаморфічні перетворення порід, ці критерії не завжди є дієвими. До того ж, в західній літературі допускаються значно ширші рамки щодо хімічного їх складу. Наприклад, виділяють високотитанисті або алмазоносні коматиїти, які, згідно з правилами вітчизняних та російських "Петрографічних кодексів" та довідників, можна віднести до пікритів (сублужних) або навіть кімберлітів (алмазоносні коматиїти Гвіани). До того ж проблема коматиїтів тісно переплітається з проблемою маріаніт-бонінітів. Для розмежування цих порід рекомендується діаграма $MgO - TiO_2$, яка також не завжди є ефективною. Разом з тим не виключено, що деякі вулканіти (особливо сильно змінені) основно-ультраосновного складу в докембрії УЩ, які відносяться до коматиїтів, можуть насправді бути породами бонініт-маріанітової серії. До останніх можуть належати ультраосновні породи Тернівської ділянки Криворіжжя. Вважається, що коматиїти та маріаніт-бонініти формуються за різних геодинамічних умов.

Отже, проблема коматиїтів у межах УЩ сьогодні перебуває тільки на початковій стадії дослідження. Можна сподіватися, що оснащення ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України сучасними аналітичними приладами зможе довести її вирішення до світового рівня.

7. Проблема санукітоїдів в Україні вперше була порушена І. Б. Щербаковим (2005), який, спираючись на аналогію з іншими докембрійськими щитами (Канадським, Балтійським), вважав, що докембрійські санукітоїди наявні в межах УЩ. Як першочергові "кандидати" в санукітоїди розглядалися монцодіорити Варварівського масиву, а можливі — монцонітоїди букинського, новоукраїнського та хлібодарівського комплексів, Шепетівського та Смолдирівського масивів, а також метаандезити сурської світи, діорити віровського типу. Санукітоїдам властиві такі петрохімічні та геохімічні особливості, як підвищений вміст магнію та калію, хрому, нікелю, барію, стронцію та легких РЗЕ — за досить високого вмісту кремнезему. Як і всі породи островодужних (субдукційних) обстановок, санукітоїди характеризуються низьким вмістом титану, ніобію, танталу, нерідко — цирконію, на спайдердіаграмах ці елементи проявляють негативні аномалії.

Вперше термін санукіти, пізніше санукітоїди (місцевість Санукі в Японії), введено в 1881 р. С. Е. Вейншенком для склуватих високомагнезіальних авгіт-олівінових андезитів та островодужних базальтів, що асоціюють з ними. Японські дослідники (Tatsumi, Ishizaka, 1982) дійшли висновку, що санукітоїди і власне андезити не можуть бути похідними толеїтової магми, а є прямими виплавками мантії. Пізніші експериментальні роботи підтвердили можливість генерації розплавів санукітоїдів (магнезіальних андезитів) з мантійного субстрату за наявності водного флюїду (Майсен, Беттчер, 1979). При цьому допускається часткова або значна контамінація кислого корового матеріалу, як це має місце в островодужних субдукційних обстановках, для яких властиві санукіти, андезити та споріднені з ними бонініти.

Не вдаючись до більш докладного висвітлення генетичних концепцій щодо санукітоїдів та повного розкриття цього терміну, відзначимо лише, що, на думку І. Б. Щербакова, санукітоїди УЩ, особливо Варварівського масиву, подібні до нікеленосних порід Єланського інтрузиву на Воронізькому кристалічному масиві.

Таким чином, доведення наявності санукітоїдів у докембрії УЩ набуває також і практичного значення. У петролого-теоретичному аспекті сучасні та фанерозойські санукітоїди цікаві тим, що

вони просторово пов'язані з субдукційними островодужними обстановками. Наявність їх в докембрії (археї та протерозої) може бути одним з доказів існування подібних умов стиснення земної кори (субдукція, колізія, обдукція) на ранніх етапах її формування.

Проявами фанерозойських санукітоїдів у межах України можна вважати магнезіальні породи палеоострівної дуги Чорного моря (Шнюков та ін., 1997) та деякі субвулканічні породи середнього складу (андезити-трахіандезити) Східного Приазов'я. В останніх виявлено ксенокристи магнезіальних (глибинних) клінопіроксенів, як це властиво типовим санукітам Японії.

8. Метасоматоз. Основним напрямком дослідження метасоматитів України є встановлення просторового і генетичного зв'язку гідротермально-метасоматичних процесів та рудоутворення з певними магматичними формаціями на основі детальних мінералого-геохімічних досліджень. Охарактеризовано розповсюдження, речовинний склад, генезис та металоносність метасоматитів і зроблені спроби їх класифікації (Семененко та ін., 1977). Виділено три ряди метасоматичних порід: 1 — лужно-польовошпатові метасоматити (феніти, сієніти, альбітити та ін.); 2 — продукти основного магнезіально-залізисто-кальцієвого метасоматозу (скарни, скарноїди, амфіболові метасоматити, хлоритоліти, скаполітити та ін.); 3 — метасоматити вилуговування і слабкого калійного метасоматозу (грейзени, слюдяні сланці, алюмокварцити, вторинні кварцити та ін.).

У кожному з цих рядів, метасоматичні перетворення в яких проходять в температурному діапазоні 300–650 °С, виділяються метасоматити двох ступенів: високо- та середньотемпературні. До окремої групи віднесені гідротермаліти (пропіліти, лиственіт-березити та ін.), утворення яких відбувалося за температури не більше 300–350 °С і умов, перехідних від кислотної стадії до стадії підвищеної лужності.

Метасоматити виявляють не тільки тісні просторові, але й генетичні зв'язки з певними магматичними породами, що дозволило розділити їх на дві групи: магматичної стадії (скарни, епідозити, залізисті метасоматити та слюдити) і післямагматичної (альбітити, егіриніти, серицитоліти, грейзени та ін.).

За останні 20 років зроблені узагальнення результатів вивчення метасоматитів Середнього Придніпров'я (Монахов, 1986), окремих типів метасоматитів, зокрема скарнів всього УЩ (Нечаєв, Сьомка. 1989) і проведено цілеспрямоване дослідження метасоматитів його складчастого облямування (Щербань, Копилова, 1988).

На основі комплексних мінералого-петрографічних, термобарометричних та термодинамічних даних встановлено широке розповсюдження і велику різноманітність фаціально-формаційних типів метасоматичних порід. Вперше виділені метасоматити, які формаційно належать до аргілізитів, лиственіто-березитів та вторинних кварцитів і супроводжуються свинцево-цинковим, ртутним та золотим зруденінням. З лужними калішпатовими метасоматитами пов'язана рідкіснометалева берилієва (фенакіт-гентгельвінова) і ніобій-танталова (колумбіт-танталітова) мінералізація. Натрієвим лужним метасоматитам притаманна рідкіснометалева колумбіт-танталітова мінералізація в їх високотемпературній частині і золото-мідно-молібденова — в середньотемпературній. Суттєві успіхи досягнуті у вивченні гідротермально-метасоматичних процесів на родовищах урану в апогранітоїдних альбітитах, проявах золота в зеленокам'яних породах Сурської та Чортомлицької структур Середнього Придніпров'я, в граніто-гнейсових товщах центральної частини УЩ, на ванадій-скандієвих родовищах у кварцит-доломіт-сланцевій товщі криворізької серії (Стригін, 1978).

У магнезіально-залізисто-кальцієвих метасоматитах високотемпературного ступеня (скарни) виявлена та вивчена шеєлітова мінералізація. За зміни високотемпературного метасоматозу низькотемпературним скарни стають золотоносними (золото-вольфрам-арсенова з вісмутом та нікелем мінералізація). З проявами грейзе-

нових процесів пов'язане рідкіснометалеве вольфрам-молібденове зруденіння, іноді з берилієм, вісмутом, рідкісними лужними і лужноземельними елементами.

Формування вулкано-плутонічних комплексів зеленокам'яних структур супроводжується розвитком у вулканітах і субвулканічних породах вторинних кварцитів, пропілітів, лиственіт-березитів, кварц-серицитових, біотит-хлоритових, турмалін-хлоритових та хлорит-серицитових метасоматитів з колчеданово-ю, мідно-колчеданово-ю, золото-кварцово-ю, золото-сульфідно-ю та мідно-молібденово-ю мінералізацією.

9. Породоутворювальні та акцесорні мінерали. Починаючи з 1970-х рр. в Інституті започаткований новий науковий напрямок під керівництвом та за ініціативою чл.-кор. АН УРСР І. С. Усенка — петромінералогія. На меті він мав детальне вивчення хімічного складу та властивостей породоутворювальних та акцесорних мінералів магматичних та метаморфічних порід УЩ, вияснення їх генезису та потенційної рудоносності.

1972 р. вийшла друком монографія "Биотиты докембрия", що була удостоєна премії ім. В. І. Вернадського; у 1979 р. — "Породообразующие пироксены Украинского щита", в 1980 — "Щелочные полевые шпаты гранитоидов УЩ" та "Породообразующие гранаты УЩ".

Слід відзначити, що дослідження типоморфних особливостей породоутворювальних та акцесорних мінералів продовжили вчені Інституту. Тут слід згадати монографії І. С. Усенка, М. М. Івантішина, М. П. Щербака, І. Б. Щербакова, Я. М. Бєлєвцева, В. О. Цуканова, В. М. Скобелєва. Були охарактеризовані мінерали карбонатних порід (Сіроштан та ін., 1976), амфіболів з метабазитів Середнього Придніпров'я, мінерали із порід кристалічного фундаменту Карпат (Данилович, 1988). Цінна інформація про склад і властивості породоутворювальних мінералів міститься в роботах Т. А. Рокачук, Н. А. Безпалько, Т. Г. Хмарук, В. М. Венідіктова, О. М. Донського, О. М. Голуб, О. Л. та М. О. Литвин та ін.

Завдяки цим роботам були охарактеризовані хімічні, оптичні, структурні, люмінесцентні та інші властивості всіх породоутворювальних мінералів магматичних і метаморфічних порід УЩ, уточнені фізико-хімічні умови їх утворення та розроблені критерії розчленування і кореляції.

Систематичне дослідження акцесорних мінералів із кристалічних порід України розпочато наприкінці 1940-х рр. у зв'язку з пошуками родовищ рідкісних елементів. У 1960–1970-ті рр. до вивчення акцесорних мінералів залучається широкий колектив геохіміків, геохронологів та петрологів. М. П. Щербак вперше всебічно охарактеризував монацит, циркон, апатит, сфен, ортит, ільменіт та магнетит із гранітоїдів північно-західної частини УЩ. Особливо детально був вивчений монацит, виділено декілька його генетичних та вікових типів. Вичерпно досліджений вміст та розподіл рідкісноземельних елементів у цих мінералах. Результати досліджень акцесорних мінералів за цей період узагальнені в колективній монографії (Безпалько та ін., 1986).

Останнім часом поглиблене вивчення акцесорних мінералів в Інституті пов'язано із впровадженням високоінформативних та чутливих фізичних і фізико-хімічних методів дослідження мінеральної речовини: електронної мікроскопії, рентгеноспектрального та рентгенофлуоресцентного методів, інфрачервоної спектроскопії, люмінесцентних, радіоспектроскопічних та оптико-спектроскопічних методів. Встановлено залежність між умовами кристалізації, морфологією, фізичними властивостями та хімічним складом циркону, апатиту, сфену та інших акцесорних мінералів із кристалічних порід.

Досліджуються склад і властивості окремих зерен акцесорних мінералів, що представляють різні їх генерації і відбивають зміну умов під час кристалізації та наступних перетворень. Подібну інформацію одержують під час аналізу зональних зерен циркону. Вивчається характер розподілу

U, Th, Pb, а також Hf, Y, Yb в монациті, цирконі, апатиті, сфені. Встановлено, зокрема, що в процесі вивітрювання в зовнішніх зонах кристалів монациту відбувається суттєвий перерозподіл радіоактивних та радіогенних елементів, зниження вмісту U, Th й радіогенного свинцю та збагачення свинцем нерадіогенним. Дуже складні та різноманітні міграція та перерозподіл U, Th і Pb в цирконі призводять до дискретності значень віку за окремими ізотопними співвідношеннями. Встановлено, що первинне співвідношення цих елементів у цирконі значною мірою залежить від кислотності / лужності мінералоутворювального середовища. Показано, що циркон із пізніших фаз гранітоїдних комплексів збагачений елементами-домішками у порівнянні з цирконом ранніх фаз і так само відрізняються цирконі із гранітоїдів пізніх етапів становлення земної кори в порівнянні з більш ранніми (Єсипчук, 1988).

Нові дані дозволили оцінити вплив на морфологію акцесорних цирконів двох головних чинників: будови кристалічної ґратки та складу мінералоутворювального середовища. Різноманітність форм циркону в одних і тих же породах пояснюється не з позицій полігенераційної концепції, а на основі еволюції габітусних форм мінералу відповідно до зміни умов мінералоутворення.

10. Формаційний аналіз. Петрологія і стратиграфія докембрію. В західній зарубіжній геологічній літературі та у "Міжнародному стратиграфічному довіднику" (кодексі) термін "формація" (*Formation*) має суто стратиграфічне значення. Формації — це літостратиграфічні підрозділи, на які ділиться вся стратиграфічна колонка певного регіону на основі літології. Літологічні відмінності між формаціями, що покладені в основу їх виділення, обирають залежно від складності геології регіону, його геологічної історії та детальності геологічного картування. Потужність формації може складати як десятки сантиметрів, так і декілька тисяч метрів. Дві або декілька формацій одного віку (ератема, система, відділ) об'єднують у групи. За російською та українською стратиграфічною термінологією формація відповідає світі, а група — серії.

У російській та українській геологічній літературі і виробничій практиці термін "формація" набув зовсім іншого значення і навряд чи доцільно його зараз змінювати, бо одночасно треба буде змінювати і всю нашу стратиграфічну термінологію.

Першим в Росії застосував термін "петрографічна формація" Ф. Ю. Левінсон-Лессінг ще 1888 р., позначаючи ним закономірну асоціацію магматичних гірських порід, утворених із одного магматичного розплаву внаслідок його тривалої природної еволюції. Такі асоціації або спільноти з переважанням певних типів порід в залежності від складу вихідної магми (базальтова, андезитова, гранітна та ін.) і умов її кристалізації, на думку Ф. Ю. Левінсона-Лессінга, мають таке ж право на самостійне визначення і вживання та трактовку з їх допомогою геологічної історії регіону, як і крупні стратиграфічні підрозділи.

Починаючи з 1950-х рр. у Радянському Союзі тривала розробка теоретичних основ вчення про геологічні формації як самостійного напрямку в області наук про Землю, що базувався переважно на петрографічних та літологічних дослідженнях. Під геологічними формаціями більшість дослідників розуміли природні асоціації гірських порід та мінеральних утворень, окремі складові яких внаслідок парагенетичних співвідношень тісно пов'язані між собою у просторовому і віковому відношенні.

Трохи пізніше були розроблені теоретичні уявлення про різні рівні організації мінеральної речовини: ядерно-ізотопний — атомарний — мінеральний — породний — формаційний. Стало цілком очевидно — геологічні формації є не просто абстрактними поняттями, що використовуються для зручності систематизації певних геологічних об'єктів, а реальними і закономірними структурно впорядкованими природними асоціаціями гірських порід. Подібно до того, як гірські породи

є закономірними асоціаціями мінералів, а мінерали — структурно впорядкованими асоціаціями атомів різних хімічних елементів.

В Україні наприкінці 1960-х рр. намітилося чотири різних підходи до формаційного аналізу докембрійських порід: генетичний, петрографічний, парагенетичний та комплексний — речовинно-структурно-генетичний. Прикладом першого був класичний генетичний аналіз геологічних формацій Криворізького залізорудного району, виконаний Г. І. Каляєвим (1965). Серед метаморфізованих вулканогенно-осадових утворень він виділив такі геосинклінальні формації: спіліто-діабазову, кварц-кератофірову (лептитову), залізисто-кременисту (джеспілітову), карбонатно-лагунну з найдавнішими каустобіолітами, нижню груботеригенну і верхню моласоїдну.

М. П. Семененко зі співавторами (1982) в межах Середньопридніпровської гранітзеленокам'яної області за речовинним складом виділив такі групи петрографічних формацій: ультрабазитові, метабазитові, кератофірові алюмосилікатні та залізисто-кременисті.

Парагенетичний підхід до формаційного аналізу магматичних та метаморфічних порід Українського щита (УЩ) використала група львівських геологів на чолі з Є. М. Лазьком (1975). Під породними парагенезисами ці дослідники розуміли певні асоціації гірських порід, що закономірно повторюються на великих територіях у різних геологічних регіонах. Такий підхід суто емпіричний і не потребує попереднього аналізу тектонічних, фізико-хімічних чи палеогеографічних умов формування гірських порід. Останні можуть бути уже наслідком формаційних досліджень, а не їх передумовою. Ці дослідники виділяють декілька груп формацій, зокрема метаморфічні або суперкрустальні (гіперстенових гнейсів і кристалосланців, кварцитів і високоглиноземистих порід, залізорудно-гнейсову, кондалітову, кінцигітову, мармур-кальцифірову, кальцифір-кристалосланцеву, карбонатно-гнейсову та ін.), метаморфізовані (джеспілітову, метапісковик-метаалевролітову, гранат-біотитових гнейсів та ін.), плутонометаморфічні (ендербітову, біотит-гранатових гранітів, діоритову, біотитову порфіровидногранітну та ін.), плутонічні (габро-анортозитову, рапаківігранітну, габро-перидотитову, габро-піроксенітову, нефелінсієнітову та ін.).

І. С. Усенко та його послідовники (1974) виділяють первинні й вторинні формації. До первинних відносять осадові, вулканогенно-осадові, вулканогенні та ювенільні інтрузивно-магматичні, виділення яких базується на детальному вивченні складу гірських порід, їх геологічного положення і реставрації первинного генезису. Специфіка цих парагенетичних асоціацій зумовлена перш за все тектонічними умовами, глибиною зародження і особливостями еволюції магматичних осередків, умовами кристалізації магми, а для осадових порід — палеогеографічними (кліматичними і т. п.) умовами осадкоутворення. Вторинні формації (метаморфічні, ультраметаморфічні, метасоматичні) — це нові породні асоціації, що виникли внаслідок глибокої переробки первинних порід під впливом зміни термодинамічних умов, глибинних потоків флюїдів та розчинів. Кожному типу первинних формацій можуть відповідати три підгрупи метаморфічних формацій, що об'єднують породи низького (зеленосланцева і епідот-амфіболітова фації), середнього (амфіболітова фація) та високого (гранулітова фація) ступенів метаморфізму.

Ультраметаморфічні формації поділяють залежно від ступеня перетворення первинного субстрату на дві підгрупи: мігматитові та гранітоїдні (первинний субстрат повністю перероблений, переплавлений і породи мають гемогенний вигляд). Детальніший поділ мігматитових формацій проводять за складом первинного субстрату (апобазитові та апопелітові мігматити), інтенсивністю розвитку жильного матеріалу, ступенем диференційованості або вторинного перетворення вихідної породи та термодинамічними умовами формування.

Таблиця 1. **Положення вулканічних, основних-ультраосновних та лужних інтрузивних формацій і комплексів у хроностратиграфічній схемі докембрію УЩ**

Ера	Вік, млн рр.	Стадія	Формації, серії та комплекси	
Мезопро-терозой	1600	Післязелено-кам'яна	Трахіандезит-ріолітова (овруцька серія) Габро-анортозитова (коростенський, корсунь-новомиргородський комплекси); Лужносієніт-габро-верлітова (октябрський комплекс); Якупірангіт-мельтейгітова (городницький комплекс); Базальт-андезит-ріолітова (клесівська серія) Троктоліт-перидотит-габроноритова (прутівський комплекс)	
Палео-протерозой	2000		Піроксеніт-перидотит-горнблендит-габро-монцонітова (букинський, новоукраїнський комплекси); Лампроїтова (коларівський комплекс); Лужноультрабазит-карбонатитова (чернігівський комплекс); Габро-перидотитова (райпільський, новосільський комплекси); Базальт-андезитова (криворізька, тетерівська, інгуло-інгулецька серії)	
Неоархей	2500	Зелено-кам'яна	Піроксеніт-перидотитова (юрівський комплекс) Андезит-толеїтова (росинсько-тікицька серія)	
			Грануліто-гнейсові терейни	Граніт-зеленокам'яні терейни
			Сієнітова (старобогданівський комплекс); Дуніт-перидотит-габроноритова (деренюхінський комплекс); Дуніт-гарцбургітова (капітанський комплекс)	Габро-перидотитова (девладівський комплекс); Дуніт-гарцбургітова (верхівцівський комплекс) Ріоліт-дацитова (білозерська серія) Дацит-андезит-толеїтова (конкська серія) Коматиїт-толеїтова Габро-дуніт-перидотитова (гайчурський комплекс) Дацит-туфітова Андезит-базальтова (косивцівська, осипенківська серії)
Мезоархей	2800			
Палеоархей	3200	Дозелено-кам'яна	Перидотит-піроксенітова (сабарівський, новопавлівський комплекси) Толеїт-базальтова (дністровсько-бузька, західноприазовська, аульська серії)	

За цими ознаками серед апобазитового та апопелітового рядів мігматитових формацій виділяють підгрупи диференційованих і дифузних мігматитів амфіболітової і гранулітової фацій. Диференційовані мігматити характеризуються чітким відокремленням субстрату і жильного матеріалу; у дифузних мігматитах жильний матеріал не відокремлений, а гранітизація захоплює всю масу породи, хоча на окремих її ділянках проявляється з різною інтенсивністю. Породи архейського віку на території УЩ — переважно дифузні мігматити гранулітової та амфіболітової фацій. Породи протерозойського віку представлені обома типами, у межах яких за текстурними ознаками виділяються мігматити тіньові, смугасті, плойчасті, брилові та ін. Їхній розвиток та взаємне розташування і взаємовідношення із вмісними породами визначається перш за все тектонічними умовами.

Використання формаційного аналізу, детальне петрографічне вивчення метаморфічних та магматичних порід і еволюції докембрійського магматизму та ефективне впровадження сучасних ізотопно-геохронологічних даних дозволило побудувати достатньо детальну і добре обґрунтовану хроностратиграфічну схему раннього докембрію УЩ, що є основою всіх регіональних геологічних досліджень на його території, геологічного картування, прогнозування, пошуків і розвідки родовищ корисних копалин. У табл. 1 і 2 узагальнено цю схему окремо для вулканічних, інтрузивних, а також гранітоїдних формацій УЩ.

У основу схеми покладено розроблену спільно петрологами та геохронологами ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України петролого-геохронологічну модель земної кори УЩ (1981, 1992). Згідно з цією моделлю у формуванні земної кори виділяють шість етапів тривалістю ~ 300–600 млн рр. кожний. Протягом догеологічного етапу (4,4–3,8 млрд рр.) сформувалася первинна базальтова кора, що згодом (ранньоархейський етап — 3,8–3,2 млрд рр.) перетворилась на примітивну континентальну кору, представлену комплексом тоналітових і ендербітових гранітогнейсів ("сірих гнейсів") і різною мірою гранітизованих амфіболітів і кристалосланців. На мезоархейському етапі (3,2–2,8 млрд рр.). відбувалось формування зеленокам'яних поясів та грануліто-гнейсових комплексів, області поширення яких відповідали розтяганню та рифтоутворенню або стисканню земної кори внаслідок конвективних рухів у верхній мантії. В неоархеї (2,8–2,5 млрд рр.) тривала гранітизація та стабілізація архейської континентальної кори. У ранньому протерозої (2,5–2,0 млрд рр.) завершилося формування зрілої континентальної кори на всій території УЩ, відбувалась інтенсивна тектонічна диференціація земної кори з розвитком у тілі великого архейського літоплінту трогових структур, рухливих поясів (зони зіткнення літосферних плит), крайових шовних зон і серединних масивів із зонами протоактивізації та діасхизису. Ранньопротерозойський етап характеризується найінтенсивнішим проявом різноманітних гранітоутворювальних процесів. У мезопротерозої (2,0–1,6 млрд рр.) проявилась тектоно-магматична активізація і відбулась стабілізація зрілої континентальної кори.

11. Фанерозойський магматизм. Традиційно вже так склалося, що петрологи Інституту більше займалися кристалічними породами УЩ, а магматичними утвореннями прилеглих западин (Дніпровсько-Донецької, Причорноморської, Прип'ятської), Карпат, Криму та Донбасу — дослідники інших наукових та виробничих організацій Львова, Донецька, Полтави, Криму (Бутурлінов та ін., 1973; Бутурлінов, 1979; Ляшкевич, Зав'ялова, 1977; Ляшкевич, Марушкін, 1982 та ін.). Частково це пояснюється тим, що магматичні породи у вказаних западинах розкривалися глибокими свердловинами, призначеними для розвідки і пошуків газу та нафти, і тому працівники з відповідних організацій вивчали керновий матеріал.

Проте деякі дослідники Інституту (Л. Г. Бернадська, К. Є. Шнюкова, Л. Г. Данилович, В. М. Бугаєнко, В. О. Сьомка та

Таблиця 2. **Положення гранітоїдів у хроностратиграфічній схемі докембрію УЩ**

Ера	Вік, млн рр.	Стадія	Гранітоїдні формації та комплекси
Мезопротерозой	1600	Післязеленокам'яна	Рідкіснометалевих гранітів (пержанський, кам'яномогильський комплекси) Рапаківі гранітів (коростенський, корсунь-новомиргородський комплекси) Інтрузивних габро-сієнітів – гранітів (південнокальчицький комплекс) Інтрузивних діоритів-гранодіоритів-гранітів (осницький комплекс)
Палеопротерозой	2000		Лейкократових автохтонних гранітів (анадольський комплекс) Палінгенних гранітів (уманський, салтичанський комплекси) Анатектичних гранітів (житомирський, кіровоградський комплекси) Ремобілізованих високоглиноземистих гранітів (бердичівський комплекс) Інтрузивних чарнокітоїдів (букинський, новоукраїнський, хлібодарівський комплекси) Палінгенних діоритів-гранодіоритів-гранітів (гайсинський, звенигородський комплекси)
Неоархей	2500	Зеленокам'яна	Палінгенних плагіогранітів (шереметівський комплекс) Інтрузивних діоритів-гранодіоритів-плагіогранітів (обіточенський комплекс)
	2800		Грануліто-гнейсові терейни Граніт-зеленокам'яні терейни Лейкократових автохтонних гранітів (бузький комплекс) Палінгенних ендербіт-чарнокітів (літинський, токмацький комплекси) Лейкократових автохтонних гранітів (токівський комплекс) Палінгенних алохтонних гранітів (мокромосковський комплекс) Палінгенних автохтонних гранітів (демуринський комплекс) Ремобілізованих плагіогранітів (саксаганський, інгулецький комплекси) Інтрузивних тоналітів-плагіогранітів (сурський комплекс) Анатектичних плагіогранітів-тоналітів (дніпропетровський комплекс) Інтрузивних діоритів-плагіогранітів (добропільський комплекс)
Мезоархей			
Палеоархей	3200	Дозеленокам'яна	Ендербітів-тоналітів (новопавлівський комплекс) Ендербітів (гайворонський комплекс)

ін.) зробили вагомий внесок в дослідження фанерозойських магматичних порід, для хімічних аналізів яких було укладено каталог. Слід відзначити, що фанерозойських магматичних порід в межах УЩ, за винятком Приазовського мегаблоку, на даний час не виявлено.

Фанерозойські магматичні породи у вказаних регіонах представлені переважно вулканітами, меншою мірою — гіпабісальними інтрузіями. За складом вони досить різноманітні, але серед них домінують, як і в подібних геологічних структурах всього світу, вулканіти нормальної лужності основного та кислого складу (базальти, ріоліти), в підпорядкованій кількості (інколи переважають, як у Криму, Закарпатті) перебувають породи середнього складу (андезити, діорити).

Менш поширеними, але досить цікавими є вулканіти та гіпабісальні інтрузії лужних та лужно-ультраосновних порід центральної частини Дніпровсько-Донецької западини, зони зчленування Приазовського мегаблоку УЩ зі складчастим Донбасом, а також ультракалієві трахіти та ріоліти Західного Причорномор'я. Нещодавно лужні породи нових для України типів (олівінові есексити, шонкініти, олівінові мелалейцитити) виявлено у Призов'ї (Кривдік та ін., 2006), де відкрито і девонські кімберліти. Названі лужні породи та кімберліти є глибинними мантійними виплавками і відображають тектоно-магматичний (рифтогенний) етап палеозойської активізації південно-західної частини Східно-Європейської платформи, коли формувалися Дніпровсько-Донецька, Причорноморська та інші западини (авлакогени), а також складчаста структура Донбасу.

Цікаві молоді (юрські) плагіограніти Криму, які часто за хімічним та мінеральним складом є аналогами однойменних порід в архейських граніт-зеленокам'яних областях УЩ. Це — один із доказів магматичної природи древніх плагіогранітоїдів. Очевидно, андезити та андезибазальти Криму та Закарпаття є індикаторними породами режиму ерогенної консолідації, аналогічного до такого в сучасних островодужних системах. Водночас слід відзначити, що фанерозойські магматичні породи України є менш вивченими, ніж їх докембрійські аналоги в межах УЩ.

12. Магматизм морського та океанічного дна. Вчені Інституту (І. Б. Щербаков, Р. Я. Бєлєвцев, К. Є. Шнюкова, В. В. Рябоконь, В. В. Сліпченко, І. М. Скопіченко, О. О. Вишневський) брали активну участь у дослідженні магматичних порід Чорного та Червоного морів і Атлантичного та Індійського океанів. Результати досліджень висвітлені в низці статей та чотирьох монографіях (Шнюков та ін., 1984, 1989).

В цих роботах наведено відомості про геологічні умови залягання магматичних порід, їхні петрографічні та петрохімічні особливості, склад породоутворювальних та деяких акцесорних мінералів, вміст елементів-домішок та міркування щодо петрогенезису цих порід.

Серед найбільш вагомих і цікавих досягнень можна визначити: 1 — виявлення і досконале вивчення порід бонінітової серії серед вулканітів у Чорному морі; 2 — знахідки (вперше в світовій практиці) сублужних вулканітів шошонітової серії на дні Індійського океану (схили г. Екватор); 3 — знахідки високотитанистих порід з керсутитом в Південній Атлантиці (зона розлому Романш); 4 — виявлення подібності базальтового вулканізму Червоного моря до океанів; 5 — встановлення наявності кислих вулканітів у Індійському океані.

Наявність високомагнезіальних порід бонінітової серії в Чорному морі (Ломоносівський підводний масив) свідчить, на думку цих дослідників, про субдукцію океанічної кори під Кримський п-ів і Скіфську плиту, що заперечувалось багатьма попередніми дослідниками. Показано подібність магматичних порід Криму і дна північної частини Чорного моря до таких Кавказького хребта. У вулканітах Чорного моря і гіпабісальних інтрузивних породах Криму виявлено незвичні (і загадкові) для таких порід мінерали — периклаз, мелініт, мервініт.

Знахідки висококалієвих вулканітів (шошонітів) в Індійському океані (г. Ек-

ватор) дозволяють дещо змінити усталені погляди на будову і тектонічний режим його океанічного дна.

Такими ж цікавими є і знахідки високотитанистих порід (очевидно, горнблендитів, названих авторами амфіболітами) з керсутитом в тропічній Атлантиці (розлом Вернадського). Ці породи дуже подібні до титанистих горнблендитів о-ва Сан-Паулу (Екваторіальна Атлантика), які, на думку деяких дослідників (Магматические горные породы, 1988), можуть бути фрагментами мантійного діапіру, що вкорінився в океанічну кору на ранній стадії розкриття Атлантичного океану.

Олівінові базальти о-вів Червоного моря (Курдуміат, Фанаадир, Саут-Уест-Хейкок) належать до сублужного ряду за хімічним складом (високий вміст титану, лугів, деякі з них нефеліннормативні) і подібні до олівінових лужних і сублужних базальтів океанічних островів, тоді як вулканіти центрального грабену цього моря аналогічні толеїтам серединноокеанічних хребтів.

Наявність кислих та шошонітових вулканітів у районі Східно-Індійського хребта, на думку дослідників, може суттєво змінити усталені уявлення про характер цієї макроструктури Індійського океану.

13. Деякі нагальні проблеми. 1. Серед багатьох типів магматичних та метаморфічних порід УЩ на сьогодні залишаються найменше вивченими основні та ультраосновні породи. Класичні роботи І. С. Усенка, присвячені цій проблемі й написані ще в 50–60-ті рр. минулого століття, базувалися виняткова на польових та мікроскопічних дослідженнях і хімічному (силікатному) аналізі гірських порід, бо сучасні методи вивчення мінеральної речовини тоді ще були відсутні. О. Б. Фомін спрямовував свої дослідження переважно на геохімію гіпербазитових та базитових формацій. Монографії Б. Г. Яковлєва, В. М. Скобелєва, Е. О. Нікуліної та низка статей інших авторів торкалися лише окремих геологічних районів та формацій — підсумкові праці з базит-ультрабазитового магматизму УЩ поки що відсутні.

2. Не розроблена на сучасному науковому та аналітичному рівні проблема генезису та класифікації мігматитів — найбільш розповсюджених ультраметаморфічних порід, що розміщуються між метаморфічними та магматичними утвореннями.

3. Стоїть нагальна проблема розробки комплексних моделей магматизму та ультраметаморфізму для окремих мегаблоків УЩ — із врахуванням геофізичних, тектонічних, петрологічних, геохімічних та геохронологічних даних.

4. Не відповідає сучасному науковому рівню загальна модель еволюції магматизму — від ультраосновного до кислого. Для вирішення питання про глибину та умови зародження магм різного складу слід ширше залучати ізотопно-геохімічні дані та петролого-геохімічне моделювання.

5. Серед породоутворювальних мінералів залишаються ще недостатньо вивченими амфіболи — одні з найрозповсюдженіших мінералів майже у всіх метаморфічних, ультраметаморфічних та магматичних породах.

6. За допомогою сучасних прецизійних аналітичних методів слід глибше вивчити акцесорні мінерали, що несуть дуже важливу петрогенетичну, геохронологічну та металогенічну інформацію. Поки що найкраще вивчений лише циркон.

7. Залишається недостатньо вивченою на сучасному рівні (Rb-Sr, Sm-Nd системи, *ICP MS*) геохімія лужних порід і карбонатитів УЩ. Це стосується як недавно відкритих масивів у західній частині цього регіону, так і давно відомих в Приазов'ї, в тому числі таких, з якими пов'язані рідкіснометалеві родовища та рудопрояви (Октябрський, Малотерсянський, Південнокальчицький, Покрово-Киріївський та ін.).

Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ

Надійшла 11.06.2008

РЕЗЮМЕ. Изложены основные достижения за последние 30–35 лет украинских геологов, в первую очередь — научных сотрудников ИГМР им. Н. П. Семененко НАН Украины в области петрологии. Освещены такие проблемы: 1 — метаморфизм, соотношение гранулито-гнейсовых и гранит-зеленокаменных террейнов; 2 — чарнокиты; 3 — гранитообразование и гранитоидные формации; 4 — анортозит-рапакивигранитная формация; 5 — щелочные породы; 6 — коматииты; 7 — санукитоиды; 8 — метасоматоз; 9 — породообразующие и акцессорные минералы; 10 — формационный анализ, петрология и стратиграфия докембрия; 11 — фанерозойский магматизм; 12 — магматизм морского и океанического дна; 13 — некоторые насущные проблемы.

SUMMARY. Main achievements of Ukrainian geologists for the recent 30–35 years have been stated. In the first place the scientific results of petrologists of M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine. The following problems have been elucidated: 1 — metamorphism; interrelation of granulite-gneissic and granite-greenstone terrains; 2 — charnokites; 3 — granite formation and granitoid formations; 4 — anorthosite-rapakivi-granite formation; 5 — alkaline rocks; 6 — komatiites; 7 — sanukitoids; 8 — metasomatosis; 9 — rock-forming and accessory minerals; 10 — formation analysis, petrology and Precambrian stratigraphy; 11 — Phanerozoic magmatism; 12 — magmatism of the sea and ocean bottom; 13 — some current problems.

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

УДК 550.42 : 546.027 + 551.71/.72

Щербак М. П., Пономаренко О. М., Степанюк Л. М., Артеменко Г. В., Загнітко В. М., Шумлянський Л. В.

Геохімія ізотопів та геохронологія докембрію

Викладено основні етапи, проблеми і перспективи розвитку геохімії ізотопів та радіогеохронології в Україні загалом і, зокрема, у Інституі геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка на сьогодні є провідним центром в Україні з ізотопно-геохімічних і радіогеохронологічних досліджень.

В Україні у 1940-х рр. під керівництвом Є. С. Бурксера були розпочаті роботи в галузі геохімії ізотопів та радіогеохронології й завдяки всебічній підтримці і активній участі віце-президента Академії наук України академіка М. П. Семененка за відносно короткий час набули широкого розвитку. Були освоєні калій-аргоновий, уран-свинцевий та, дещо пізніше, рубідій-стронцієвий ізотопні методи і розпочато планомірне датування гірських порід Українського щита (УЩ) та інших регіонів України (Г. Д. Єлисєєва, Б. Б. Зайдис, Ф. І. Котловська).

Ґрунтуючись на отриманих результатах, М. П. Семененко в докембрії України виділив п'ять мегациклів (Стратиграфія УРСР, 1972), які було покладено в основу міжконтинентальної кореляції докембрійських розрізів. До докембрію I (3600–2700 млн рр.) віднесено аульський та конкський комплекси, що співставлялися з біломорським комплексом Балтійського щита, предскурієм Шотландії та докенеранським фундаментом Гренландії і Канадського щита. Докембрій II (2700–2000 млн рр.) на УЩ представлено бузьким і базавлуцьким комплексами, віковими аналогами яких є свекофеніди і ранній карелій Балтійського щита, кетеліди Гренландії, гудзоній Канадського щита. В докембрій III (2000–1700 млн рр.) виділено криворізький комплекс УЩ; він співставлений зі свекофенідами Швеції, курським комплексом Воронезького масиву, гудзонським комплексом провінції Черчіль на Канадському щиті. Докембрій IV (1700–1100 млн рр.) представлено овруцьким і волинським комплексами УЩ, які корелюють з воронцовською серією Воронезького масиву, готським комплексом Південної Швеції, ельсоніем і кевенованом Канадського щита, мізастальським та апачі комплексами Північно-Американських Кордільєр. Докембрій V (1100–560 млн рр.) проявлено рахівським циклом у Карпатському регіоні та поліською, волинською і валдайською серіями на західному схилі УЩ; віковими аналогами їх є чорноморський цикл галіцид у фундаменті Європи, гренвільський цикл на Канадському щиті та серія белт в Північно-Американських Кордільєрах.

Глобальне значення мала вперше в світі розроблена М. П. Семененком (1975) геохронологічна схема послідовності розростання і стабілізації кори континентів. Згідно з цією схемою, в докембрії з'являються декілька центрів формування

© Щербак М. П., Пономаренко О. М., Степанюк Л. М., Артеменко Г. В., Загнітко В. М., Шумлянський Л. В., 2008

платформ континентів, які розростаються у результаті стабілізації та причленування в докембрії II нового структурного ярусу сіалічної кори. Стабілізовані на цьому етапі континентальні плити продовжують розростатись, простір між ними заповнюють утворення рухливих поясів докембрію III, які з'єднали їх у великі платформи. У кінці докембрію IV завершилась стабілізація платформ північної півкулі (Північно-Американської, Східно-Європейської та Східно-Сибірської), а у південній півкулі стабілізувались щити другого порядку. Наприкінці докембрію відбулася повна стабілізація південних континентальних платформ (Південно-Американської, Африканської, Індійської, Австралійської та Антарктичної) і окремих ділянок по периферії платформ північної півкулі. Широтний екваторіальний рухливий пояс між платформами північної і південної півкуль існував протягом всього фанерозою.

У 1970-х рр. почався новий етап розвитку радіогеохронологічних досліджень в Україні, направлених на вивчення стратиграфії та геохронології докембрію України, пов'язаний з ім'ям академіка НАН України М. П. Щербака. Він розвиває комплексний підхід до вивчення докембрійської стратиграфії, який базується на таких основних положеннях: 1. У формуванні породних асоціацій раннього докембрію провідна роль належить осадовим, магматичним і метаморфічним процесам, які проявлялись циклічно, з певною еволюційною спрямованістю. Породні асоціації кожного наступного циклу істотно відрізняються від попередніх, утворюючи еволюційні петрогенетичні ряди.

2. Український щит має неоднорідну блокову будову. Виділяються чотири типи мегаблоків, які представляють граніт-зеленокам'яну область Середнього Придніпров'я, грануліто-гнейсову область Придністров'я та Побужжя, діафторовані граніто-гнейсові райони Приазов'я і басейнів рік Рось та Тікич, амфіболіто-гнейсові пояси Північно-Західного й Інгуло-Інгулецького районів. Одновікові породні асоціації у кожному з мегаблоків, як правило, істотно відрізняються.

3. Для кожного тектоно-магматичного циклу нижні вікові межі визначаються за часом накопичення ініціальних вулканітів і пов'язаних з ними осадових утворень, а верхні — за часом становлення пізньо- та посторогенних гранітоїдних комплексів.

4. Час прояву процесів седиментогенезу, магматизму і метаморфізму встановлюється за реперними ізотопними датами, визначеними уран-свинцевим, самарій-неодимовим та іншими сучасними радіогеохронологічними методами.

Виходячи з цих положень, фахівці Інституту під керівництвом М. П. Щербака у співпраці з іншими науковими та виробничими геологічними організаціями розробили нову стратиграфічну схему докембрію УЩ (М. П. Щербак, М. М. Доброхотов, К. Ю. Єсипчук, Є. М. Бартницький, Є. Б. Глеваський, Г. В. Жуков, Г. В. Артеменко та ін.). (М. П. Щербак та ін., 1978, 1985, 1989; Стратиграфия СССР, 1989). Виділено п'ять геохронологічних рубежів. Найважливіший з них — 2600 млн рр. Він розглядається як межа архею та протерозою і визначається умовно за існуванням гранітів віком 2800–2600 млн рр., які завершують пізньоархейський тектоно-магматичний цикл. З ранньопротерозойським тектоно-магматичним циклом пов'язане утворення вулканітів новокриворізької світи (не менше 2350 млн рр.).

У археї виділено два вікових рубежі. Рубіж 3200 млн рр. відділяє палеоархей (дніпровій) від мезоархею (азовію) і визначається віком метадацитів конкської серії (3150 млн рр.) та плагіогранітоїдів дніпропетровського комплексу (до 3200 млн рр.) і 3600 млн рр., що поділяє ео- та палеоархей.

Віковий рубіж 1700 млн рр. відділяє ранній протерозой (клесовій) від пізнього (овручій). Він відповідає часові становлення субплатформних масивів гранітів рапаківі, лужних і сублужних порід Східного Приазов'я. У протерозої виділяється ще рубіж 2000 млн рр., він є межею між криворожієм та овручієм і відповідає часові

прояву на всіх блоках щита (за винятком Середньоприднiпровського) інтенсивних гранітоутворювальних процесів, якими завершилась стабілізація ранньопротерозойських рухливих зон.

Досить детально розроблено стратиграфію докембрійських залізисто-кременистих формацій УЩ і Східно-Європейської платформи в цілому (М. П. Щербак). Їх утворення пов'язане з періодами тектоно-магматичної активності (на УЩ 3400–3150 та 2800–2600 млн рр.), які відповідають кратонним стадіям розвитку. Існування тривалих періодів стійкого кратонно-континентального режиму в археї і на межі архею з протерозоєм з властивим йому інтенсивним вивітрюванням пояснює існування в глобальних масштабах двох великих періодів залізорудного осадконакопичення, які тривали після кратонних стадій. До цих же періодів належить формування високоглиноземистих порід з проявами корунду (метаморфізовані кори вивітрювання), а також графітових гнейсів.

Велика увага в Інституті приділяється вивченню найдавніших порід, які є ключем до реконструкції ранньої геологічної історії Землі. На території УЩ знайдені й вивчені найдавніші гірські породи — новопавлівський комплекс та дністровсько-бузька серія віком 3750–3400 млн рр. (М. П. Щербак, В. Л. Бойко, І. М. Лісна, Л. М. Степанюк). Породи віком від 3000 до 4000 млн рр. встановлені також на Балтійському, Алданському і Анабарському щитах (Е. В. Соботович, А. А. Комаристий, Ю. О. Ольховик, О. В. Цьонь, Ю. А. Слупицький, Л. М. Степанюк).

У результаті комплексних ізотопно-геохімічних і геохронологічних досліджень Інститутом у співпраці з відповідними інститутами геологічної служби і кафедрами Львівського, Криворізького та Київського університетів на сьогодні розроблена сучасна шкала геологічного часу раннього докембрію УЩ, яка добре зіставляється з Міжнародною шкалою геологічного часу в докембрії (М. П. Щербак, 2007).

Отримана за останні роки радіогеохронологічна інформація та зіставлення рубежів основних епох формування породних комплексів раннього докембрію УЩ з Міжнародною шкалою окреслила ряд проблемних питань: 1. Найповніше співпадає розчленування геологічного розрізу мезоархею (3,2–2,8 млрд рр.) УЩ з Міжнародною шкалою, але потужності зеленокам'яних товщ в таких регіонах, як Південно-Африканський та Західно-Австралійський щити, значно більші, ніж в УЩ.

2. В Українському щиті поки що не доведена наявність зеленокам'яних асоціацій палеоархейського етапу формування (3,6–3,2 млрд рр.). Тому необхідно посилити комплексні геохронологічні та ізотопно-геохімічні дослідження регіонів УЩ щодо прояву зеленокам'яних асоціацій порід палеоархею.

3. Недостатньо досліджені рубежі формування породних комплексів міжблокових тектонічних зон. Передовсім це стосується Оріхово-Павлоградської та Голованівської, які характеризуються складною тектонічною будовою та поширенням порід різного віку.

4. Необхідно провести комплексні ізотопно-геохімічні та геохронологічні дослідження з метою уточнення нижнього геохронологічного рубежу формування Криворізько-Кременчуцької структури та тетерівської серії. Особливо актуальне проведення додаткових досліджень щодо нижнього рубежу новоград-волинської товщі.

5. Недостатньою є кількість даних про час утворення рудних формацій. Тому радіогеохронологічним лабораторіям ІГМР ім. М. П. Семененка, УкрДГРІ та інших наукових установ України слід опанувати Re-Os та Lu-Hf методи датування рудних мінералів. У першу чергу необхідно визначити час утворення парагенезисів мінералів рудних, рідкіснометалічних та радіоактивних асоціацій УЩ.

Крім вказаних існують й інші проблеми у вивченні геологічної будови УЩ, формування якого охоплює значний етап геологічної історії Землі — від 3,7 до

1,6 млрд рр. У цьому плані будуть проведені дослідження в спільному комплексному проекті Академій наук України і Росії, у виконанні якого Інститут бере активну участь. Назва цього проекту "Еволюція літосфери Українського і Балтійського щитів в ранньому докембрії". Перший етап проведення наукових досліджень в рамках цього проекту будуть виконувати від України — Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка (ІГМР) НАН України, від Росії — Інститут геології та геохронології докембрію (ІГГД) РАН, Інститут геохімії ім. В. І. Вернадського (ГЕОХІ) РАН та Всеросійський геологічний інститут (ВСЕГЕІ), які мають сучасне лабораторне обладнання для вивчення речовинного складу докембрійських утворень.

Геохронологічними дослідженнями, окрім породних комплексів УЩ, були охоплені й інші регіони України та сусідніх країн. Виконано значний обсяг геохронологічних досліджень магматичних формацій Карпат, Криму, Донбасу та Дніпровсько-Донецької западини (М. П. Щербак, Б. Цамбел, Л. М. Степанюк та ін.). Встановлено складну, багатоетапну геологічну історію розвитку Мармароської структурної зони Внутрішніх Карпат. У добайкальський час тут проявились інтенсивні вулканічні та підпорядковані їм седиментаційні процеси, інтрузії невеликих гранітних тіл і метаморфізм. Протягом байкальського етапу (900–540 млн рр.) відбулось накопичення потужної товщі осадових порід білопотоцької серії, слабо проявились основний магматизм та інтрузії гранітоїдів діорит-плагіогранітної формації (540 млн рр.), сформувалась складчастість і проявився метаморфізм за умов амфіболітової та епідот-амфіболітової фацій. Під час каледонсько-варіського етапу (540–380 млн рр.) нагромадились карбонатно-теригенна та флішоїдна формації діловецької серії; на початку цього етапу проявився спочатку основний, а потім кислий магматизм і вкорінились тіла гранітогнейсів білопотоцького та яворникового типів. Джерелом магми гранітогнейсів першого типу була верхньомантійна чи нижньокорова речовина, а другого — верхня кора, збагачена ураном, торієм, рубідієм і рідкісноземельними елементами. Протягом герцинського етапу (330–290 млн рр.) раніше утворені породи зазнали регресивного метаморфізму за умов зеленосланцевої фації, що призвело до регіонального "омолоджування" віку порід і мінералів, визначених з допомогою калій-аргонового методу.

Разом зі словацькими геологами проведено ізотопне датування кристалічних порід Західних Карпат і геохронологічне зіставлення кристалічного фундаменту Західних та Східних Карпат (М. П. Щербак, Б. Цамбел, 1987). Одержані з використанням уран-торій-свинцевого методу дані щодо цирконів із гранітоїдів, порфіроїдів і кристалічних сланців не підтвердили їх докембрійський вік. Показано, що найдавніші вулканічні процеси проявились у Східних Карпатах в інтервалі 640–600 млн рр.; в Західних осадова товща гельницької серії утворилась понад 660 млн рр. тому, а вулканічна діяльність проявилась значно пізніше (400 млн рр.).

В результаті ізотопно-геохронологічних досліджень порід палеозойського фундаменту Криму встановлено, що час їх формування відповідає карбон-пермському етапові (320–280 млн рр.); "омолоджування" віку пов'язане з юрським і крейдовим магматизмом, прояви якого доведено геологічними та радіологічними даними. В Донецькому басейні і Дніпровсько-Донецькій западині вулканічні процеси проявились у пізньому докембрії, в завершальні фази герцинського, а, можливо, і альпійського орогенезів.

Для розв'язання низки петрогенетичних та металогенічних задач широко використовуються дані з геохімії ізотопів свинцю, стронцію, вуглецю, сірки, кисню й водню. М. П. Щербак, Є. М. Бартницький, В. М. Загнітко, І. П. Лугова та ін. на основі ізотопного складу свинцю із галенітів архейських осадово-вулканогенних порід Середнього Придніпров'я встановили декілька їх різновікових генерацій, пов'язаних з різними рудно-мінеральними

асоціаціями, утвореними внаслідок проявів магматичних і більш пізніх метасоматичних процесів. Першоджерелом кластогенних галенітів із метапісковиків та конгломератів скелюватської світи криворізької серії були сульфідно-кварцові жили, які залягають серед архейських плагіогранітів і метаморфічних порід конкської серії.

Галеніти із рудопроявів Донбасу і Волино-Поділля мають складний генезис, в їх утворенні брали участь породи докембрійського фундаменту, палеозойські осадові товщі і гідротермальні розчини. Ізотопний склад свинцю цих галенітів визначений різним кількісним внеском звичайного свинцю, який відповідає часові рудоутворення, радіогенного та найдавнішого (також звичайного).

Одержано важливі дані про ізотопний склад стронцію в гранітоїдах УЩ. Встановлено, що для тоналітів та плагіогранітів Середнього Придніпров'я і Західного Приазов'я характерне низьке значення відношення $^{87}Sr/^{86}Sr$. В їх мігматизованих відмінах воно підвищується, що зумовлено впливом корового компонента. Високі значення відношення $^{87}Sr/^{86}Sr$ мають житомирські, бердичівські, мокромосковські та інші граніти, які є палінгенно-анатектичними утвореннями.

За особливостями ізотопного складу кисню та вуглецю в карбонатах виділено декілька генетичних груп карбонатних порід і відтворено умови їх формування. Розроблено ізотопно-геохімічні критерії відмінності карбонатитів від інших типів карбонатних порід, що має важливе практичне значення (І. П. Лугова, В. М. Загнітко).

Проведено вивчення ізотопного складу кисню в породах докембрійських залізисто-кременистих формацій України, уточнені фізико-хімічні умови їх утворення та розроблені ізотопні критерії відміни основних генетичних типів багатих залізних руд (І. П. Лугова, Ю. П. Мельник).

Вивчено особливості розподілу ізотопів кисню, водню і сірки в рудопроявах Українських Карпат, що дозволило одержати нові дані про їх генезис. Встановлено, що поліметалічне і колчеданно-поліметалічне зруденіння Берегівського рудного поля не відрізняються між собою за ізотопним складом кисню, вуглецю та сірки в мінералах, температурним режимом утворення і складом рудоутворювальних розчинів. На підставі цього зроблено висновок про вулканогенно-гідротермальний генезис обох типів зруденіння. Наявні раніше уявлення про вулканогенно-осадове походження колчеданно-поліметалічного зруденіння не підтвердились (М. П. Щербак та ін., 1981).

Проведено систематичні дослідження ізотопного складу водню та кисню із підземних вод різних нафтогазоносних районів України та інших регіонів, розроблено і широко впроваджено в геологічну практику новий метод пошуків родовищ вуглеводнів (В. Ю. Ветштейн, 1982). Застосування ізотопних методів дало змогу вирішити також інші мінералогічні та петрологічні проблеми, зокрема, показати можливість виділення рівноважних та нерівноважних асоціацій гідроксилвмісних мінералів (М. П. Щербак, В. Ю. Ветштейн).

Вперше у світі проведено експериментальне дослідження коефіцієнтів ізотопно-кисневого фракціонування у системі циркон — вода, що включало штучне вирощування кристалів циркону в системі із заданими ізотопними параметрами води та оксиду цирконію (В. М. Загнітко, І. П. Лугова).

Виконано комплексні ізотопно-геохронологічні дослідження, спрямовані на створення шкали періодизації металогенічних епох в ранній історії Землі і в дорифейський етап формування докембрію УЩ, що дуже важливо для визначення напрямків пошуку чорних, кольорових, радіоактивних та благородних металів (М. П. Щербак, Д. М. Щербак та ін.).

За останні роки в радіогеохронологічних й ізотопно-геохімічних дослідженнях широкого використання набули методи оптичної та електронної мікроскопії, що дозволило цілеспрямовано вибирати об'єкти вивчення і сприяло об'єктивнішій

інтерпретації отримуваних ізотопних даних. Це надзвичайно важливо для визначення віку уран-свинцевим ізотопним методом за акцесорним цирконом, особливо ранньодокембрійських комплексів, які в цілому є поліциклічно сформованими породними асоціаціями, що зазнали впливу декількох розірваних у часі термальних ендогенних перетворень, супроводжуваних кристалізацією нових генерацій циркону. За результатами виконання комплексних радіогеохронологічних досліджень породних комплексів західної частини УЩ встановлено, що континентальна кора цього регіону формувалася протягом понад 1,5 млрд рр. (у віковому інтервалі 3,65–1,95 млрд рр. тому) шляхом додавання нових порцій мантійної речовини. Доведено, що в будові Дністровсько-Бузького району УЩ беруть участь породи трьох різновікових гнейсових комплексів, які зазнали, крім палеопротерозойського, декілька етапів термальних ендогенних перетворень: палеоархейські (3,6–3,2 млрд рр. тому) поліметаморфічні породи тиврівської товщі — шість етапів; неоархейські (2,8–2,6 млрд рр. тому) поліметаморфічні породи бузької серії — не менше трьох етапів; палеопротерозойські (2,6–2,1 млрд рр. тому) метаморфічні породи гніванської та березнинської товщ (Л. М. Степанюк, 2000).

Процеси тектонотермальних ендогенних перетворень порід гранулітових комплексів супроводжувались формуванням чарнокітоїдів. Найдавніший циркон із ендербіто-гнейсів дністровсько-бузької серії має вік 3,65 млрд рр. і утворився за *PT* умов амфіболітової фації (Л. М. Степанюк, В. М. Скобелєв, 2006). Цирконі архейського віку (2,8 млрд рр.) містять чарнокітоїди, поширені західніше с. Завалля, в Луполовській антикліналі та в районі м. Гайворон (І. М. Лісна, 1989; О. В. Бібікова та ін., 2001, 2004), але переважна більшість чарнокітоїдів Дністровсько-Бузького району УЩ була сформована наприкінці раннього протерозою (2,06–1,99 млрд рр. тому) — мезопертитові ендербіти, чарнокіти, зрідка безкалішпатові ендербіти (І. М. Лісна, 1989; Л. М. Степанюк, 2000; Л. М. Степанюк та ін., 2004).

Встановлено, що протерозойський (2,1–1,95 млрд рр. тому) етап гранітизації порід архейських гранулітових комплексів Дністровсько-Бузького району відбувався синхронно процесам гранітоутворення в породах палеопротерозойських гнейсових комплексів Дністровсько-Бузького, Північно-Західного та Росинсько-Тікицького районів УЩ (Л. М. Степанюк, 2000; О. М. Пономаренко, 2003).

Отримано вагомі результати у віковому розчленуванні порід граніт-зеленокам'яних комплексів Середньоприднiпровського та Приазовського мегаблоків УЩ і Воронезького кристалічного масиву. В зеленокам'яних поясах Середньоприднiпровського мегаблоку виділено п'ять етапів кислого вулканізму (Г. В. Артеменко, 1995). Встановлено вік Софіївської розшарованої інтрузії — 3,1 млрд рр. На Приазовському мегаблоці встановлено мезоархейський вік зеленокам'яних поясів — 3,2–3,0 млрд рр., що дозволило зіставити їх з зеленокам'яними поясами Середньоприднiпровського мегаблоку (конкською серією) (М. П. Щербак, Г. В. Артеменко та ін., 2006). Визначено вік кислих метавулканітів у Сорокинській зеленокам'яній структурі (ЗС) — 3,16 млрд рр., Новогорівській ЗС — 3,1 млрд рр. Виділено плагіогранітоїди віком 3,0 млрд рр. (Новогорівська, Косивцівська, Сорокинська ЗС). Виконано геохронологічне розчленування і геохімічну типізацію гранітоїдів Гуляйпільського блоку — виділено плагіограніти тоналіт-тронд'ємит-гранітної асоціації — 3,0–2,92 млрд рр., плагіогранітоїди шевченківського комплексу — 2,85 млрд рр. і корові граніти добропільського і вовчанського комплексів (Г. В. Артеменко та ін., 2008). У метаосадових породах зеленокам'яних структур Приазовського мегаблоку виявлено палеоархейський кластогенний циркон віком 3,35 млрд рр., що свідчить про існування більш древнього фундаменту (М. П. Щербак, Г. В. Артеменко та ін., 2006). Встановлено архейський вік вапнисто-лужних сієнітів Старобогданівського

масиву — 2,81 млрд рр. У Курській граніт-зеленокам'яній області Воронезького кристалічного масиву встановлено вік кислих метавулканітів олександрівської (3,27 млрд рр.) та дичнянської світ (3,13 млрд рр.) михайлівської серії (Г. В. Артеменко, 1995) та виявлено палеоархейські тронд'єміти віком 3,27 млрд рр. (Г. В. Артеменко та ін., 2006).

Розроблено петрогенетичну модель формування Олександрівської розшарованої інтрузії, до якої належать магматичні фази перидотитів, піроксенітів, габроїдів, діоритів, анортозитів й плагіогранітоїдів і встановлено її верхню вікову межу — 3,06 млрд рр. (Г. В. Артеменко, І. А. Самборська 2008). Ця інтрузія розміром близько 5 × 8 км виділяється у південно-західній частині Середньопридніпровського мегаблоку і складена ультрабазитами, габроїдами, діоритами, анортозитами та плагіогранітами. Згідно з геофізичними даними, Олександрівська структура інтерпретується як киле- або воронкоподібна з концентрично-зональною будовою. Центральна частина цієї структури складена практично повністю діоритами; зовнішнє "кільце" — габроїдами і ультрамафітами, які прориваються жилами діоритів. До тіл ультрамафітів і їх тектонічного контакту з вмісними породами приурочені прояви сульфідних мідно-нікелевих руд (Солдатське, Володимирівське, Олександрівське). Метаморфізм порід — від зеленосланцевої до амфіболітової фацій. Вмісні породи представлені плагіомігматитами дніпропетровського комплексу, від яких породи Олександрівської структури відділені тектонічними розломами.

Інтрузивний комплекс Олександрівської структури представляє собою багатофазову інтрузію. До найбільш ранньої інтрузивної фази належать кумулятивні ультрабазити — дуніти, лерцоліти і вебстерити, які складають товщу ритмічно-зональної будови (Г. В. Артеменко, І. А. Самборська, 2008). Пізніша інтрузивна фаза представлена габроїдами, в найбільш повному розрізі яких виділяється послідовність (згори донизу): норит, габронорит, габро діопсидове, які також є розшарованими. Остання магматична фаза представлена андезиновими анортозитами, діоритами та плагіогранітами.

Ультрамафіти Олександрівської структури характеризуються нормальною і підвищеною нікеленосністю. Максимальний рівень накопичення ванадію і титану спостерігається в габроїдах. Мідно-нікелеві руди характеризуються стійкою парагенетичною асоціацією — піротин, пентландит, халькопірит, що містять підвищені значення концентрації нікелю, кобальту та міді (Г. В. Артеменко, І. А. Самборська та ін., 2008).

Час формування ультрамафіт-мафітового комплексу залишається невідомим. У результаті спроби його визначення з використанням за валовими пробами порід Sm-Nd ізотопного методу виявлено, що в ультрамафітах присутній неодим із двох джерел і побудувати для них ізохрону неможливо. Одна проба лерцоліту має позитивне значення $\varepsilon Nd = 2,6$, а дві інші негативні $-1,4$ та $-7,7$. Від'ємними значеннями εNd характеризуються також олівінові вебстерити — від $-1,7$ до $-8,5$. Це ми пояснюємо проявом процесів метаморфізму.

Верхня вікова межа формування порід ультрамафіт-мафітового комплексу Олександрівської інтрузії визначається часом інтрузії в них діоритів, анортозитів та плагіогранітів — 3060 млн рр. тому (Г. В. Артеменко, 1995).

Великий обсяг геохронологічних досліджень виконаний у межах Волинського мегаблоку УЩ. Зокрема, встановлено, що найдавнішими утвореннями в даному регіоні є метаморфічні породи тетерівської серії (включаючи гнейси новоград-волинської товщі), вік метаморфізму яких становить 2100 ± 20 млн рр. (Rb-Sr породна ізохрона та U-Pb вік за новоутвореними метаморфогенними цирконами (В. М. Скобелєв, 1985). Гранітоїди Волинського мегаблоку відносять до двох комплексів: житомирського та осницького, вік формування першого з них становить 2080–2040, другого — близько 1990

млн рр. (М. П. Щербак та ін., 1989). Практично синхронно з гранітоїдами осницького комплексу формувались і ефузиви клесівської серії, що дозволяє відносити їх до однієї вулкано-плутонічної асоціації. Одночасно з породами осницького комплексу формувалась і складна породна асоціація розшарованих перидотит-габронорит-монцоніт-гранітоїдних інтрузивів букинського комплексу, вік становлення яких визначено в 1987 ± 6 млн рр. Очевидно, формування всіх цих порід пов'язане з двома орогенними подіями — "житомирською" і "осницькою", що розвивались в режимі активної континентальної окраїни архейського Побузького мікроконтиненту. Ізотопний склад стронцію ($Sr_{(i)}$ = 0,70202–0,70275) та неодиму (εNd = –0,4...+1,8) в породах осницько-клесівської вулкано-плутонічної асоціації свідчить про ювенільне (мантійне) походження цих порід (Л. В. Шумлянський та ін., 2006), тоді як породи букинського комплексу мають змішане (мантійно-корове) походження (Л. В. Шумлянський, 2003).

Наступний значний етап розвитку даного регіону пов'язаний з колізією Сарматського та Фенноскандинавського сегментів Східно-Європейської платформи, яка відбулась близько 1800 млн рр. тому. З цим етапом розвитку території пов'язане формування цілої групи нікеленосних розшарованих інтрузивів (Прутівський, Каменський) та дайкових утворень (Томашгородська група дайок, дайки Горинської зони розломів тощо). Вік формування Прутівського інтрузиву визначений в 1777 ± 5 млн рр., Каменського — в 1788, а долеритів Томашгородської групи дайок — в 1790 ± 4 (Л. В. Шумлянський та ін., 2008). Ізотопно-геохімічні дані (ізотопний склад $Sr_{(i)}$ = 0,70264 ± 0,0002, $Nd_{(i)}$ = 0,51030 ± 0,00018, εHf = +1,7... + 5,8, $\delta^{34}S$ = –0,1... +4,3 ‰ (Л. В. Шумлянський, 2005, 2008) свідчать про формування первинних розплавів цих порід з деплетованої мантії. Цілком інше джерело мають породи крупного поліфазного Коростенського анортозит-рапаківігранітного плутону.

Уран-свинцевий ізотопний метод уможливив досить детальне вивчення цирконів і баделеїтів із магматичних порід Коростенського плутону. Встановлено, що інтрузія різних за складом магматичних порід відбувалася протягом 60 млн рр. як серія окремих магматичних епізодів (фаз). Тіла найбільш ранніх анортозитів встановлені в межах Пугачівської (1794 ± 6,7 млн рр.), Ігнатпільської (1789 ± 0,2) брил і Федорівського масиву (1784 ± 2,7 млн рр.). Формування гранітів рапаківі основної фази інтрузії відбулося 1767 ± 2,2 млн рр. тому, синхронно процесам вулканізму, що мали місце в межах Вільчанської западини. Плутонічні породи Коростенського плутону та ефузиви нижньої частини Овруцької і Вільчанської западин також являють собою єдину вулкано-плутонічну асоціацію. Ізотопно-геохімічні дані (ізотопний склад $Sr_{(i)}$ = 0,70233–0,70362, $\varepsilon Nd_{(i)}$ = –1,4...±1,6) щодо базитових порід Коростенського плутону свідчать про, найвірогідніше, нижньокорове джерело первинних розплавів. Була висловлена думка, що таким джерелом могли бути нижньокорові мафітові грануліти, сформовані під час осницького орогенезу.

Становлення інтрузій анортозитів, лабрадоритів, габро-норитів, ультрабазитів і дайок діабазових порфіритів відбулося 1761–1758 млн рр. тому. В цей же час утворилися калішпат-біотитові граніти у Сущано-Пержанській тектонічній зоні (1760 ± 10 млн рр.) та лезниківські граніти Коростенського масиву (1752 ± 15 млн рр.) (В. М. Верхогляд, 1995).

Найбільш активний магматизм у межах Коростенського плутону проявився близько 1762–1758 млн рр. тому, коли були сформовані величезні анортозитові масиви (Володарськ-Волинський), численні рудоносні габроїдні інтрузиви, що містять значні поклади апатит-ільменітових руд, а також деякі з дайок долеритів (В. М. Верхогляд, 1995; Л. В. Шумлянський, 2007).

У межах західного схилу УЩ було досліджено кластогенні цирконі, вилучені з пісковиків поліської серії, а також вік базальтів волинської серії. Наймолодший з цирконів поліської серії мав вік близько 1000 млн рр. Отже, породи цієї серії форму-

вались не раніше цього часу. Весь комплекс проведених ізотопно-геохронологічних досліджень по базальтах волинської серії (K-Ar, Rb-Sr ізохронне, U-Pb по сингенетичних цирконах (Л. В. Шумлянський та ін., 2001, 2006) свідчить про формування цих порід близько 550 млн рр. тому, на межі венду та кембрію.

Всі ці результати стали можливими тому, що за останні роки значно зросли аналітичні можливості геохронометричної лабораторної бази Інституту завдяки введенню в експлуатацію нового покоління масспектрометричного і хіміко-аналітичного обладнання вітчизняного та зарубіжного виробництва.

Це наочно можна продемонструвати на розвитку уран-свинцевого ізотопного методу. Перші дослідження ізотопного складу свинцю виконувались на масспектрометрі МІ-1301 і лише виділеного із галеніту та монациту. В 1960-х рр. з появою мас-спектрометрів МІ-1305 і, дещо пізніше, МІ-1309 було розпочато аналізування ізотопного складу свинцю в цирконах. При цьому вага проби циркону, що використовувалась на один аналіз, складала близько 1 г. Проби розкладали лугами, методом плавлення у платинових чашках, а для виділення свинцю і урану використовували паперову хроматографію.

На початку 1980-х рр. з появою більш досконалого мас-спектрометра МІ-1320 та впровадження в лабораторії Інституту методики хімічної підготовки Кроу стало можливим аналізувати проби циркону масою декілька міліграм.

Значно зросла продуктивність масспектрометрів. Якщо аналіз ізотопного складу свинцю на мас-спектрометрах МІ-1301 і МІ-1309 тривав декілька годин, а реєстрація мас-спектра відбувалася на паперовій стрічці КСП, що вимагало ще декількох годин кропіткої їх обробки для отримання даних щодо поширеності ізотопів та розрахунку ізотопних відношень, то мас-спектрометр МІ-1320 управлявся за допомогою комп'ютера і вся процедура реєстрації та обробки мас-спектра свинцю здійснювалася автоматично, хоча тривалість аналізу становила 20–30 хв. Мається на увазі лише сам процес реєстрації 20–30 мас-спектрів, без виведення проби в режим аналізу. Така підготовка проб в середньому займає близько години і практично однакова для всіх твердофазних термоемісійних мас-спектрометрів. Реєстрація такого ж мас-спектра свинцю за допомогою багатоколекторного мас-спектрометра МІ-1201 АТ сумського ВАТ "Селмі" відбувається протягом 4-х хв.

За рішенням вченої ради Інституту створено мінералогічну лабораторію комплексного дослідження гірських порід і мінералів для ізотопного датування. Основним напрямком дослідження лабораторії є розшифрування генезису мінералів, окремих їх генерацій та співставлення їх утворення з конкретними геологічними ендогенними процесами, що значно підвищило об'єктивність геолого-геохронологічної інтерпретації отримуваних для них цифрових значень ізотопного віку, інформативність і якість ізотопно-геохімічних досліджень в цілому.

Окрім того, в Інституті створена "чиста" хімічна лабораторія з надчистими модулями для проведення досліджень з наважками акцесорних мінералів 0,5–2,0 мг, а в окремих випадках аналізувались і поодинокі акцесорні уранові мінерали. Зменшення наважок мінералів значно розширило можливості для ізотопного датування таких мінералів, як циркон, монацит, апатит, ортит, ксенотим та ін., які знаходяться у породах в незначній кількості, та дозволило зменшити вагу геохронологічних проб, що відбираються для датування, до 5–10 кг.

У 2005 р. в Інституті створений Центр колективного користування приладами "Мас-спектрометричний центр твердофазного, газового ізотопного та мікроелементного аналізу", який оснащений найновішим унікальним обладнанням — мас-спектрометром високої роздільної здатності з іонізацією в індуктивно зв'язаній плазмі "Елемент 2", що має межу детектування для більшості елементів 10^{-15}. Приставка лазерної абляції *UP* 193, діаметр

кратера дослідження якої становить 2–110 мкм в полі кольорового відеомікроскопу з роздільною здатністю 2 мкм.

До комплекту обладнання лабораторії входять система очистки води *Millipore Direct-Q*3 *UV*, яка дозволяє отримувати ультрачисту воду з домішками не більше 10^{-9} г/г безпосередньо із водопровідної води, та мікрохвильова система розчинення проб *Millestone ETHOS*-1, укомплектована ротором високого тиску *NOVA*, що дозволяє розкладати навіть надстійкі мінерали за 1–2 год.

Складовими одиницями Центру є також рентгеноспектральний мікроаналізатор суперпроб 733 фірми *Jeol*, електронний растровий мікроскоп з катодолюмінісцентною приставкою і системою енергодисперсійного аналізу, поляризаційний оптичний мікроскоп фірми *Nikon*.

Все це значною мірою сприяло якості наукових досліджень та вагомості отримуваних результатів, дозволило розширити арсенал радіогеохронологічних методів. Так у 1999 р. в Інституті було впроваджено самарій-неодимовий ізотопний метод. Перші результати датування цим методом були отримані на 5-колекторному масспектрометрі MI-1201 AT (Т. І. Довбуш, В. М. Скобелєв, Л. М. Степанюк, 2000). Було доведено принципову можливість використання самарій-неодимових модельних дат як нижніх вікових меж супракрустальних товщ. Розраховані індикаторні $^{143}Nd/^{144}Nd$ ізотопні відношення в магматичних породах відомого віку значно розширюють можливості поділу порід за джерелом їх родоначальних магм (кора чи нижня кора + мантія). Результатами вивчення самарій-неодимових систем валових проб порід підтверджено корову природу гранітів рапаківі коростенського, плагіогранітів сурського і дніпропетровського, гранітоїдів добропільського і низки інших комплексів УЩ та мантійне джерело більшості вивчених габроїдів.

Зважаючи, що успіх радіогеохронологічних досліджень вирішальною мірою залежить від методик хімічної підготовки проб, аналітичного обладнання (технічні дані мас-спектрометрів), результати, які були отримані до 1982 р. в Інституті (Каталог ізотопних дат..., 1978 та ін.), на сьогодні мають лише історичну та, деякою мірою, інформаційну цінність через недосконалість хіміко-аналітичних методик та низьку точність вимірювання ізотопних відношень на мас-спектрометрах того часу у порівнянні з теперішніми аналітичними можливостями.

Донедавна геохронологи, у тому числі українські, практично не вивчали анатомію кристалів циркону, через що проводили датування складних (поліфазних) кристалів циркону, сформованих у результаті прояву декількох, розірваних у часі, ендогенних процесів. Отримані значення ізотопного віку для таких кристалів не відображають реальних геологічних подій, а є проміжними між віком найдревнішої та наймолодшої із генерацій, що утворюють датовані кристали. Досить часто геохронологи були вимушені датувати складно побудовані кристали циркону, щоб хоч якось оцінити вік порід, як, наприклад, гранулітових комплексів Побужжя та Приазов'я, оскільки на той час іншого виходу не було. Тепер завдяки появі іон-іонних мікрозондів типу *Shrimp* та *Cameca* з'явилася можливість датувати кожну зону росту (генерацію) кристалів циркону окремо і отримувати інформацію про час кристалізації кожної із них.

Таким чином, є нагальна необхідність перегляду ізотопних дат, визначених до 1982 р., та детального вивчення анатомії кристалів циркону з застосуванням методів оптичної та електронної мікроскопії. Цирконі, представлені простими (однофазними) кристалами, слід датувати класичним уран-свинцевим методом. Складні (поліфазні) кристали циркону необхідно датувати використовуючи сучасні іон-іонні мікрозонди. Це дозволить уточнити час формування магматичних порід і звузити вікові рамки формування інтрузивно-магматичних, ультраметаморфічних комплексів та супракрустальних товщ.

На сьогодні практично немає надійних ізотопних дат для порід ультраосновного складу та більшості базальтоїдів, у тому

числі порід дайкових комплексів УЩ. Це ускладнює проведення кореляції через те, що відсутні надійні дані про початок формування осадово-вулканогенних товщ, оскільки саме продукти базит-ультрабазитового вулканізму зазвичай знаходяться в нижніх частинах розрізів супракрустальних товщ.

Надійне ізотопне датування, насамперед поліфазних кристалів циркону за допомогою іон-іонних мікрозондів, порід основного-ультраосновного складу, у тому числі дайкових комплексів з використанням самарій-неодимового методу, буде сприяти розчленуванню та кореляції ранньодокембрійських утворень УЩ та проведенню міжрегіональних кореляцій. Наявні на сьогодні протиріччя в чинній "Кореляційній хроностратиграфічній схемі..." (2004), на наш погляд, значною мірою обумовлені тим, що вікове положення в Схемі деяких комплексів визначено не зовсім вірно (дніпропетровського, добропільського, літинського та ін.), часто взагалі є невідомим, як наприклад, шереметівського, капітансько-деренюхінського, славгородського, мангуського, сорокинського і низки інших комплексів.

Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, Київ

Надійшла 22.08.2008

РЕЗЮМЕ. Охарактеризованы основные этапы, проблемы и перспективы развития геохимии изотопов и радиогеохронологии в Украине в целом и, в частности, в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н. П. Семененко НАН Украины.

SUMMARY. Main stages, problems and prospects of development of isotope geochemistry and radiogeochronology in Ukraine as a whole and M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine have been stated.

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

УДК 550.84 + 556.334

Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, А. І. Самчук

Основні напрями розвитку пошукової та екологічної геохімії

У статті коротко охрактеризований внесок фахівців Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України у розвиток основних напрямів пошукової та екологічної геохімії — геохімії ландшафтів, геохімії осадових порід, процесів літогенезу та гіпергенезу, геохімії ґрунтів, геохімії окремих елементів, геохімічних методів пошуків, біогеохімії, гідрогеохімії, медичної геохімії, еколого-геохімічного картування.

Основою розвитку сучасної пошукової та екологічної геохімії стали наукові результати багаторічних досліджень, які почали розвиватись в Україні наприкінці 1970-х рр. під час опрацювання проблем, пов'язаних із геохімією токсичних елементів. Але найбільшого розвитку ці дослідження досягли після створення за ініціативою Е. Я. Жовинського в Інституті у 1987 р. відділу пошукової та екологічної геохімії. За короткий час було вивчено закономірності розподілу галогенів, важких металів та інших хімічних елементів в об'єктах довкілля і встановлено особливості їх геохімічної поведінки. Проведені численні дослідження на території України, результати яких викладено в монографіях: "Эколого-геохимические исследования природных сред в условиях городской агломерации" (1991), "Экологическая геохимия и охрана окружающей среды" (1992), "Подвижные формы токсичных элементов в почвах Украины" (1993), "Эколого-геохимические исследования подвижных форм токсичных элементов в условиях сельских агломераций" (1993), "Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины" (2002) та ін. Було встановлено закономірності формування природних і техногенних ореолів розсіювання хімічних елементів і їх рухомих форм в зоні гіпергенезу різних ландшафтно-геохімічних зон України, зокрема у ґрунтах і природних водах. Результати дозволили визначити фонові і аномальні значення концентрації хімічних елементів. Окрім величезного теоретичного значення ці результати стали основою для розробки принципово нових геохімічних методів пошуків корисних копалин і нових технологій еколого-геохімічного картування, оцінки і прогнозування стану навколишнього середовища, розробки і обґрунтування природоохоронних заходів.

У 1950–1970-х рр. з метою районування території Українського щита (УЩ) для пошуків рудних корисних копалин Б. Ф. Міцкевичем та Ю. Я. Сущиком розроблені принципи ландшафтно-геохімічного районування за вторинними механічними ореолами розсіяння. У межах УЩ відповідно до фізико-географічної зональності виділено п'ять ландшафтно-геохімічних районів, що відображає умови протікання геохімічних процесів. Встановлено, що потужність осадових відкладів чохла до п'яти метрів є критичною для утворення відкритих накладених ореолів розсіювання похованих родовищ. На цій основі виділені геохімічні ландшафти прямого, утрудненого і відсутнього

© Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, А. І. Самчук, 2008

зв'язку з кристалічним фундаментом (Б. Ф. Міцкевич, 1971).

Геохімії процесів літогенезу та гіпергенезу присвячено роботи по вивченню літофаціальних особливостей, речовинного складу і умов утворення різних за віком осадових порід і пов'язаних з ними рудних та нерудних корисних копалин Волино-Поділля, Дніпровсько-Донецької западини, Причорномор'я, Криму, Карпат, Передкарпатського та Закарпатського прогинів. Визначено основні етапи їх перетворення, виявлено провідні геохімічні чинники, які впливають на ці процеси, а також зв'язок їх з диференціацією та інтеграцією рудних компонентів і формуванням родовищ на різних стадіях літогенезу.

Проведено літолого-геохімічне вивчення порід флішової формації Українських Карпат, виявлено та охарактеризовано основні стадії постседиментаційного їх перетворення (І. М. Афанасьєва, 1970). У результаті досліджень змін речовинного складу порід кристалічного фундаменту Мармароського масиву Українських Карпат встановлено два етапи метаморфізму: герцинський, пов'язаний з прогресивним регіональним метаморфізмом (від епідот-амфіболітового до зеленосланцевого ступеня), та альпійський, пов'язаний з локальним прогресивним метаморфізмом порід чохла в умовах найбільш низькотемпературних субфацій зеленосланцевої фації (Ю. Р. Данилович, 1978).

Виявлено геохімічні індикатори осадкоутворення і постседиментаційної зміни осадових і осадово-вулканогенних формацій. Розроблено методику вивчення тривалості епігенетичного перетворення порід за вмістом фтору в слюдах (Л. Г. Ткачук, Е. Я. Жовинський, Л. С. Сонкін, 1980).

Експериментальні дослідження дозволили визначити провідну роль в літогенезі фізико-хімічних умов рівноваги природної системи розчин — вода, кінетики і динаміки, сорбції і десорбції, комплексоутворення та інших процесів. Вперше обґрунтовано утворення флюоритової і сульфідної мінералізації в осадових породах в результаті їх постседиментаційної зміни. Важливими ознаками при цьому є літологічний склад порід, ступінь їх тріщинуватості і пористості (Л. Г. Ткачук, Е. Я. Жовинський, 1976). Розроблено методи термодинамічного аналізу стану фтору, берилію, міді та інших елементів у водних розчинах залежно від фізико-хімічних умов середовища, концентрації комплексоутворювальних іонів та інших факторів (Е. Я. Жовинський, Ю. Я. Сущик, А. І. Самчук, 1970).

Значним внеском в теорію екзогенного утворення ореолів розсіювання хімічних елементів є встановлення фізико-хімічних умов формування природних і техногенних ореолів розсіювання хімічних елементів (фтор, берилій, мідь та ін.) та їх рухомих форм в зонах гіпергенезу. Показано, що у ґрунтах різних ландшафтно-геохімічних зон України значну роль відіграють комплексні металоорганічні сполуки (Е. Я. Жовинський, А. І. Самчук, І. В. Кураєва, Г. П. Островська).

Провідне значення гідрохімічних процесів у постседиментаційному перетворенні осадових порід встановлено під час вивчення вторинної пористості давніх товщ. Як показали дослідження, пористість пісковиків у розрізі залежить від хімічного складу і динаміки підземних вод, що впливають на ступінь вилуговування порід та утворення вторинної пористості. Це пояснює збільшення пористості пісковиків з глибиною: на глибині 0–400 м пористість становить 11–15, а нижче (400–600 м) сягає 22–24 %. В той же час пористість аргілітів залежить здебільшого від глибини заляган ня порід, тому що вилуговування тут дуже незначне. Одержані дані за матеріалами глибинного буріння підтвердили основні висунуті положення і дали можливість розглядати процеси рудоутворення в осадових породах з принципово нових позицій і довести, що пористі осадові породи є природними колекторами. На цій підставі Е. Я. Жовинським висунута гіпотеза стосовно утворення вторинної пористості в осадових породах на значних глибинах.

Результати досліджень дозволили виділити провідну роль фізико-хімічних

умов рівноваги природної системи "розчин — порода", кінетики і динаміки, сорбції і десорбції, комплексоутворення та інших чинників у процесах літогенезу і осадового рудоутворення.

Значну увагу співробітниками відділу приділено вторинним змінам осадових порід і чинникам, що їх спричинили. Зокрема, досліджений вплив підземних вод та їхня роль у виникненні сульфідних рудопроявів, флюоритової мінералізації та інших корисних копалин.

Ретельно вивчались процеси діагенезу і катагенезу (епігенезу). Встановлено, що головним чинником вторинних змін осадових порід Східних Карпат є тиск, особливо стресовий, а осадових порід в платформних умовах — гідростатичний тиск відкладів, що залягають вище, підземні води і тривалість процесів епігенезу (Л. Г. Ткачук, Е. Я. Жовинський, І. М. Афанасьєва, Ю. Р. Данилович, 1969–1980).

В останні роки значну кількість досліджень присвячено вивченню геохімії ґрунтів**.** Співробітники Інституту більшу частину своїх досліджень на сьогоднішній день акцентують на наступних напрямках вивчення геохімії ґрунтів: встановлення закономірностей розподілу хімічних елементів в основних типах ґрунтів України; вивчення мобільних форм галогенів, важких металів, нітратів та ін. у ґрунтах природних і техногенних ладшафтів; розробка інформаційно-довідкової системи та банку геохімічних данних і еколого-геохімічне картування ґрунтів України.

Вперше розроблено комплексну методику еколого-геохімічного картування ґрунтів на основі визначення показників рухомості й особливостей міграції токсичних елементів. Складено електронні карти, що характеризують природний фон і розповсюдження валових концентрацій та рухомих форм міді, цинку, кобальту, нікелю у ґрунтах Київської обл. (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, Н. О. Крюченко, 2001).

Вивчено закономірності розподілу важких металів в основних типах ґрунтів України (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 2002). Встановлено залежність вмісту хімічних елементів у ґрунтах від їх фізико-хімічних властивостей, мінералогеохімічного складу ґрунтоутворювальних порід, ландшафтних і техногенних умов території України.

Встановлено основні форми знаходження важких металів у зональних типах ґрунтів України, що пов'язані з фракціями ґрунтового гумусу, "залишковою", карбонатною, адсорбованою, обмінною й легкорозчинною. Рухомість металів у ґрунтах знижується зі збільшенням вмісту гумусу і глинистої фракції. Тому в сірих лісових, дерново-підзолистих, дерново-карбонатних, дерново-борових ґрунтах значна частина металів пов'язана з "залишковою" фракцією (60 %), ґрунтовим гумусом (30), адсорбованою (20), обмінною і легкорозчинною (25 %). У чорноземах, каштаново-солонцюватих, бурозем ах, лугово-чорноземних і лугових ґрунтах вміст металів, пов'язаних з фракцією ґрунтового гумусу, зростає до 60 %, пов'язаних з обмінною та легкорозчинною фракціями — знижується до 12 %. Основою для визначення фонового природного рівня металів у ґрунтах основних ландшафтно-геохімічних зон України є їх вміст у ґрунтах заповідних територій.

Ґрунти ряду територій, на які впливають викиди підприємств вугільної, чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної й металообробної промисловості, вміщують важкі метали в кількості, що перевищує природний геохімічний фон в десятки й сотні разів. Найбільш забруднені важкими металами ґрунти промислових та селітебних зон підприємств вугільної, чорної та кольорової металургії. Менше забруднені металами ґрунти, на які впливають викиди підприємств хімічної промисловості, машинобудування й металообробки. В техногеннозабруднених ґрунтах підвищується вміст металів у обмінній та легкорозчинній формах і значно збільшується їх рухомість порівняно з ґрунтами фонових територій. Середній вміст рухомих форм металів у ґрунтах в районах розвитку вугільної промисловості складає, % від валового вмісту: цинк — 47,5;

мідь — 34,5; кобальт — 29,7; свинець — 35,5; нікель — 73.

Під час визначення особливостей техногенного забруднення важливим є визначення мобільних форм важких металів у ґрунтах природних і техногенних ландшафтів.

Вперше оцінено ступінь забруднення ґрунтів і визначено генетичну природу геохімічних аномалій за допомогою інтенсивних й екстенсивних показників рухомості важких металів у різних типах ґрунтів України.

Встановлено, що поряд з комплексоутворенням, важливу роль у виникненні мобільних форм мікроелементів у ґрунтах відіграють процеси сорбції. Іонообмінні реакції в системі ґрунт — розчин можуть бути описані за допомогою зміни вільної енергії під час переходу іонів з твердої фази в рідинну. В природній системі можливі метастабільні стани, що характеризуються локальними ділянками термодинамічної рівноваги, не дивлячись на те, що вся система нерівноважна. Такий підхід дозволяє використати апарат рівноважної термодинаміки для аналізу ґрунтових розчинів і вод для кількісної оцінки процесів у ґрунтах.

За допомогою методів термодинамічного аналізу встановлено основні форми міграції важких металів у ґрунтових розчинах: вільні катіони металів і розчинні металоорганічні комплекси. Наприклад, мідь мігрує в ґрунтових розчинах у вигляді гідроксокомплексів, вільних катіонів і фульватних комплексів. Підвищення концентрації іонів металів у ґрунтових розчинах збільшує вміст форм їх міграції у вигляді вільних катіонів. Міграція металів у розчинах чорнозему звичайного у вигляді вільних катіонів складає, %: нікель — 56,1, кобальт — 76,3, мідь — 24,3, цинк — 94,3; у дерново-підзолистих ґрунтах — нікель — 59,1, кобальт — 80,4, мідь — 57,9, цинк — 95,5; у ґрунтових розчинах з каштаново-солонцюватих ґрунтів — кобальт — 74,4, мідь — 40,7, цинк — 80,1, нікель — 70,2.

Розроблено фізико-хімічну модель сорбції міді, цинку, нікелю, свинцю чорноземами і дерново-підзолистими ґрунтами, яка дозволяє оцінити сорбційну здатність ґрунтопоглинального комплексу і міграційну здатність металів у системі ґрунт — природний розчин — рослина. Встановлено форми знаходження металів, які характерні для різних фракцій ґрунтів (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, Г. П. Островська, Л. Б. Новікова, 1998).

Під час надходження токсичних елементів у ґрунт відбувається їх трансформація. Вони вступають у хімічні реакції з мінеральними та органічними компонентами ґрунту і утворюють різноманітні сполуки. Утворені хімічні форми токсичних елементів відрізняються за своїми фізико-хімічними властивостями. Так, одні можуть акумулюватись у вигляді важкорозчинних сполук, інші утворюють істинний або колоїдний розчин, який є доступним для біоти.

За експериментальними даними була представлена (А. І. Самчук та ін.) фізико-хімічна модель утворення мобільних форм токсичних елементів у системі "ґрунт — розчин", яка об'єднує такі процеси: іонний обмін у ґрунтопоглинальному комплексі; утворення розчинних різнолігандних і різнометалевих хелатних сполук з фульвокислотами; створення абсорбційно-міцелярних комплексів з гуміновою кислотою; утворення абсорбційних сполук важких металів на поверхні гідроксидів заліза і марганцю.

Вперше було створено інформаційно-довідкову систему та банк геохімічних даних як основи еколого-геохімічного картування ґрунтів України (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 2002).

Нові підходи до еколого-геохімічного картування ґрунтів на основі визначення показників рухомості та особливостей міграції хімічних елементів дозволили розробити принципи комп'ютерного картування і побудувати моно- та поліелементні геохімічні карти розподілу вмісту валового і рухомих форм металів, а також методи оцінки ступеня техногенного забруднення.

У Інституті виконано фундаментальні дослідження з геохімії окремих елементів.

Значну кількість робіт присвячено геохімії фтору. Доведено універсальність фтору під час вирішення теоретичних і прикладних задач: геологічного картування, визначення стадій літогенезу, стратиграфічної кореляції й розчленування німих осадових товщ, фаціальних реконструкцій, пошуків корисних копалин, трасування зон тектонічних порушень, виявлення зон розвантаження глибинних підземних вод, вирішення багатьох інших геологічних і геолого-пошукових задач. Вперше визначено розподіл фтору в породах і мінералах осадових та осадово-вулканогенних формацій південного заходу Східно-Європейської платформи, визначено його мінеральні форми, умови міграції й концентрації за різних фізико-хімічних умов і виділені епохи фторонакопичення (Е. Я. Жовинський, 1978–2006).

Аналіз умов міграції фтору в природних розчинах і експериментальні дослідження з термодинамічними розрахунками і побудовою кінетичних моделей дозволили встановити, що основною формою міграції фтору за гіпергенних процесів у нейтральному та лужному середовищі є фторид-іон. Міграційна здатність фтору у вигляді моно- і поліядерних комплексів металів визначена їх ступенем стійкості за змінних термодинамічних умов природного середовища. Доведено, що провідним чинником, який сприяє розчиненню флюориту, є температура. Розчинність інших фторвмісних мінералів, таких, як апатит, віліоміт тощо, зменшується зі зростанням температури. Крім того, швидкість розчинення збільшується пропорційно зростанню швидкості інфільтрації (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 1987).

Вивчення геохімії фтору в поверхневих відкладах різних геохімічних ландшафтів, осадових і осадово-вулканогенних формацій, процесах літогенезу і гіпергенезу із врахуванням фізико-хімічних умов рівноваги природної системи "порода — розчин" дозволило визначити умови формування первинних й вторинних ореолів його розсіювання і встановити їх структурно-геохімічні особливості. Це дозволило суттєво вдосконалити фторометричні методи пошуків плавикового шпату та інших корисних копалин, пов'язаних з рудно-флюоритовими формаціями (Е. Я. Жовинський, 1985).

Встановлено закономірності розподілу ртуті та створена база ртутнометричних даних і на її підставі побудовані карти-схеми вмісту ртуті у ґрунтах і ґрунтоутворювальних породах Криму, які можуть бути використані для комплексної оцінки еколого-геологічного стану довкілля (А. І. Радченко, 2000).

Закономірності розподілу і міграції хрому в об'єктах навколишнього середовища дозволили виділити локальні території з аномальним вмістом хрому різного походження — техногенного (дендропарк "Олександрія", м. Біла Церква) та природного (родовище хромітових руд "Східні Липовеньки"), а також дендропарки, де вміст хрому є фоновим ("Кагарлицький", м. Кагарлик; "Софіївка", м. Умань). Результати геохімічних досліджень, проведених на вказаних територіях, дали змогу розробити практичні рекомендації щодо картування і виділення ділянок з аномальним вмістом хрому, з одного боку, як техногенно забруднених територій та визначення їх ступеня техногенної безпеки і, з другого боку, ділянок, перспективних для пошуків хромітових руд. За результатами випробування ґрунтів, поверхневих і підземних вод отримано нові геохімічні дані, зроблені розрахунки основних форм міграції хрому в різних типах підземних і поверхневих вод, побудовані геохімічні карти розподілу хрому в об'єктах навколишнього середовища на території досліджуваних ділянок та карта забрудненості дендропарку "Олександрія" сполуками хрому та нафтопродуктами (С. М. Кулик, 2004).

На прикладі детального вивчення поведінки фтору, цього надзвичайно чутливого індикатора, Е. Я. Жовинським було показано можливість вирішення цілого спектра проблем прикладної геохімії. Приклади, що ілюструють застосування фторометрії під час встановлення металогенічної спеціалізації порід, визначення їх генезису й стратиграфічної

приналежності, проведення геохімічних пошуків за первинними та вторинними ореолами розсіювання фтору, трасування зон тектонічних порушень, картування зон метасоматозу, грейзенізації тощо, наведені у численних публікаціях. Доведено, що геохімічні асоціації фтору з іншими елементами дозволяють здійснювати кореляцію німих теригенних товщ і визначати вплив основних епігенетичних процесів на перетворення осадових порід. При цьому позитивні кореляційні зв'язки із фтором мають літій, рубідій, цезій, стронцій. Вміст фтору в окремих мінералах може свідчити про тривалість стадій літогенезу, що показано на прикладі гідратації фторвмісного біотиту.

Швидкість виносу фтору із мінералів визначається, в першу чергу, особливостями епігенетичного процесу. Зв'язок між зміною вмісту фтору та структурними особливостями біотиту дозволяє проводити відносне визначення і тривалість епігенетичного перетворення осадових порід.

Утворення накладених ореолів значною мірою залежить від характеру сорбції фтору осадовими породами. У природній системі "порода — розчин" відбувається фізична і хімічна сорбція фтору, які контролюються, в першу чергу, речовинним складом порід. Величина адсорбції залежить від типу порід і зменшується у такому ряду: глини — аргіліти — алевроліти — вапняки — пісковики. У кожному типі порід максимальна адсорбція пов'язана зі збільшенням вмісту глинистої складової, мінімальна — фторвмісних мінералів. Виявлено загальну тенденцію збільшення коефіцієнта адсорбції від давніх до молодих порід.

Встановлено існування двох типів залежності сорбції і десорбції від фактора часу — для уламкових і глинистих порід чи порід з високим вмістом глинистих, карбонатних мінералів та органічної речовини. У другому випадку сорбція значно переважає над десорбцією, бо основним механізмом сорбції тут є необернена хемосорбція.

Надходження фтору в природні розчини рудно-флюоритових провінцій і, відповідно, утворення його екзогенних ореолів контролюються кінетичними особливостями розчинення флюориту в розчинах різного хімічного складу. Експериментальними дослідженнями розчинення флюориту в розчинах фульвових кислот з використанням методів хімічної кінетики, проведеними під керівництвом Е. Я. Жовинського, встановлено, що швидкість розчинення флюориту лімітується зовнідифузійними стадіями розчинення. Вона зростає зі збільшенням температури, концентрації розчинника й швидкості розмішування. Розрахункові константи розчинення флюориту в розчинах органічних кислот показали, що присутність незначної кількості фульвової кислоти істотно уповільнює швидкість розчинення флюориту в порівнянні з чистою водою, тобто органічні кислоти слугують інгібітором розчинення цього мінералу. Залежно від зміни зазначених параметрів обраховано константи розчинення флюориту в природних умовах, що визначають утворення екзогенних ореолів фтору над рудопроявами і тектонічними порушеннями глибокого залягання.

Доведено, що під час пошуків корисних копалин за накладеними ореолами фтору необхідно в умовах конкретного геохімічного ландшафту проводити попереднє кінетичне вивчення процесу десорбції фтору з метою добору оптимального терміну водної витяжки. Був запропонований принципово новий методичний підхід: доведено доцільність використання гідрофторометричного методу на основі термодинамічного аналізу природної системи "розчин — порода" з визначенням ступеня насиченості води фтором і направленості природного процесу. Це дало можливість, базуючись на засадах нового підходу, розробити і побудувати прогнозні гідрофторометричні карти за насиченістю води фтором для розбракування аномального вмісту і виділення аномалій, пов'язаних із проявами плавикового шпату і зонами тектонічних порушень. Доведено необхідність аналізувати, в першу чергу, вміст фтору в глинистій складовій, застосовуючи літофторометричний метод. Створено й випробувано новий польовий експрес-метод —

десорбційно-фторометричний, заснований на потенціометричному визначенні вмісту фтору у водній витяжці.

Обґрунтовано доцільність комплексування й етапність застосування цих трьох методів для виконання рекогносціювальних, прогнозно-пошукових і пошукових робіт. Гідрофторометричний метод рекомендований для дрібномасштабного картування і регіональних прогнозно-оціночних робіт; літофторометричний — середньомасштабного картування і пошукових робіт; десорбційно-фторометричний — великомасштабного картування і детальних геохімічних пошуків або як польовий експрес-метод пошуку родовищ корисних копалин глибокого залягання під час опробування за потоками розсіювання чи площиною.

Ефективність геохімічних методів пошуків за накладеними ореолами фтору доведена численними прикладами вивчення різних руднофлюоритових формацій, трасуванням зон тектонічних порушень — Гусятинської, Сатанівської, Каменської, Подільської і багатьох ін., а також відкриттям Бахтинського родовища флюориту, Збручанського родовища мінеральних вод і цілої низки рудопроявів. Широке застосування фторометричних методів під час вивчення основних закономірностей розподілу фтору на території УЩ і прилеглих регіонів у комплексі з геолого-структурними, літофаціальними, мінералого-петрографічними, геохімічними, металогенічними та іншими даними дозволили виділити дев'ять рудних тектонічних вузлів, площі яких найбільш перспективні для пошуків флюориту й інших корисних копалин рудно-флюоритових формацій (Е. Я. Жовинський, 1985).

Вперше впроваджено геохімічний метод пошуків за рухомими формами хімічних елементів (на прикладі низки рудопроявів і родовищ на території УЩ: Прутівський рудопрояв (Cu-Ni зруденіння); рідкісноземельний рудопрояв "Балка Корабельна"; Бобринецький рудопрояв флюориту (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 2002); Пержанський рудопрояв рідкісноземельно-флюоритового зруденіння; Селищанське скарново-вольфрамове зруденіння; Новоселівський рудопрояв молібдену; Рафалівський рудопрояв міді; Східно-Липовеньківський рудопрояв хрому; Жданівський мафіт-ультрамафітовий масив; Полохівське родовище петалітів (Е. Я. Жовинський, Н. О. Крюченко, О. А. Жук, 2002–2007).

Вперше складено карту флюоритоносності масштабу 1 : 500 000 та створено базу даних по родовищах, рудопроявах, мінеральних знахідках флюориту. Розроблено рекомендації щодо виявлення руднофлюоритових формацій на території УЩ та його обрамлення (Е. Я. Жовинський, Н. О. Крюченко, О. А. Жук, 2007).

На прикладі рідкіснометалево-флюоритових рудопроявів району Пержанського рудного поля встановлено, що крім рухомих форм фтору обмінні форми важких металів утворюють чіткі аномалії безпосередньо над рудним тілом. Геохімічні пошуки за вторинними сольовими ореолами розсіювання з врахуванням кінетики процесу десорбції і даних про рухомі форми хімічних елементів дозволили виявити геохімічні аномалії, пов'язані з рудопроявами в різних геологоструктурних і ландшафтно-геохімічних умовах УЩ. Виявлено закономірності геохімічної поведінки елементів-індикаторів над рудопроявами та родовищами металевих корисних копалин, що дозволило розробити найбільш ефективні геохімічні методи пошуків із застосуванням математичного моделювання. Визначені можливості застосування методу рухомих форм хімічних елементів на глибині понад 100 м. Розроблено рекомендації з використання геохімічних методів з визначенням форм знаходження елементів для розбраковування техногенних та природних аномалій. За допомогою методів термодинамічного аналізу та математичного моделювання вперше встановлено основні форми міграції хімічних елементів у різних типах ґрунтів над рудопроявами території УЩ і встановлено, що катіонні і аніонні форми є найбільш ефективними елементами-

індикаторами геохімічних пошуків. Розроблено теоретичні основи визначення кількісного зв'язку інтегрального вмісту хімічного елементу по площі вторинного сольового ореолу з його інтегральним вмістом по площі рудопрояву (Е. Я. Жовинський, Н. О. Крюченко, Н. П. Іваненко, 2007).

Співробітниками Інституту було досліджено вплив вмісту важких металів на мікробіоту ґрунту поблизу Південного гірничозбагачувального комбінату та Криворізького металургійного заводу (Криворіжсталь). Досліджено резистентність, хемотропні реакції та сорбційну здатність мікроміцетів щодо іонів важких металів (І. В. Кураєва, А. І. Самчук).

Вперше встановлено і обґрунтовано коефіцієнт біологічної активності фтору в природних водах, що враховує синергетичні зв'язки його з іншими елементами. За цим коефіцієнтом можна визначати ступінь екологічного ризику територій та вплив питних вод на розвиток ендемічної захворюванності населення (Н. О. Крюченко, 2002).

З метою виявлення індикаторів забруднення навколишнього середовища важкими металами проведені дослідження рослинності на території Українського Полісся. Досліджений валовий вміст мікроелементів у попелі деревної рослинності, розраховані показники коефіцієнтів біологічного поглинання. Визначено, що найбільше в деревах накопичуються мідь, олово та манган (А. І. Самчук, І. В. Кураєва).

З сучасних напрямків гідрогеохімії, над якими протягом декількох десятиліть працюють співробітники Інституту, слід відмітити пошукову гідрогеохімію, фізико-хімічне моделювання, екологічну гідрогеохімію.

Виявлено закономірності розподілу фтору в підземних водах водоносних комплексів, які використовуються для питного водопостачання Львівської, Одеської та Полтавської областей. Визначено основні геохімічні умови формування питних підземних вод з різним вмістом фтору. Виявлено основні фізико-хімічні умови утворення різних сполук фтору та проведено районування території України за вмістом фтору в питних водах. На прикладі вивчення підвищених значень концентрації фтору у воді та його впливу на організм людини показана необхідність комплексного дослідження, що включає загальнохімічні методи, антропометричні дослідження, стан фактичного харчування, структурно-функціональний стан кісткової тканини тощо. Тільки в такому разі можна вважати достовірною інформацію щодо параметрів джерел ендемічних захворювань (Н. О. Крюченко, 2002).

За даними понад тридцятирічних геохімічних досліджень, що проводять співробітники Інституту, в Україні встановлені регіони з недостатнім вмістом або надлишком есенціальних елементів (мідь, цинк, кобальт, манган, бром та ін.). Досліджено території з небезпечним для проживання людини рівнем забруднення природного середовища (гірських порід, ґрунтових відкладів, підземних та поверхневих вод) токсичними елементами, що віднесені до першого класу небезпеки — ртуть, арсен, селен, кадмій, свинець, цинк, фтор. Виявлено закономірності розподілу та умов фізико-хімічної міграції елементів у природній системі ґрунт — природний розчин — рослина. Встановлено, що основними фізико-хімічними процесами, які визначають геохімічну поведінку мікроелементів у біокосних системах, є комплексоутворення, розчинність, сорбція. Визначені та розраховані параметри техногенної міграції токсичних елементів на урбанізованих територіях, що характеризуються різним ступенем техногенного навантаження, а також розподілу важких металів у ґрунтах, біосі та організмі людини в зоні впливу техногенних об'єктів.

У результаті фундаментальних багаторічних досліджень розроблені узагальнюючі підходи до еколого-геохімічного картування та оцінки ступеня екологічного ризику територій з різним антропогенним навантаженням. На підставі визначення особливостей хімічного складу ґрунтів прове-

дено оцінку екологічного стану заповідників України: "Станично-Луганський", "Провальський степ", "Клепініно", "Сонячне", розташованих у різних еколого-геохімічних зонах (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, В. Й. Манічев, Н. О. Крюченко, А. І. Радченко, О. А. Жук, 2005).

Картування територій і створення за його результатами банку еколого-геохімічних даних — найбільш доцільна і змістовна форма зберігання та представлення інформації, що дозволяє комплексно вирішувати різнопланові господарські задачі. Серед них розробка технології визначення ступеня забруднення ґрунтів токсичними елементами та їх рухомими формами; токсичних елементів у трофічному ланцюгу ґрунт — вода — рослина — тварина — людина; виявлення й оконтурювання територій, небезпечних для проживання чи ведення народного господарства; виділення територій, придатних до вирощування екологічно чистої продукції; розробка моделі еколого-геохімічної карти України як основи для створення тематичного атласу екологічного стану території нашої держави. Відповідно до сучасних уявлень про закономірності розподілу і умов фізико-хімічної міграції мікроелементів розроблена базова методика створення еколого-геохімічних карт, сформульовані вимоги до їх тематичного навантаження під час використання як традиційних методів картування, так із застосуванням ГІС-технологій. Перші успішні спроби створення комплексних моно- і поліелементних комп'ютерних карт за показниками рухомості міді, цинку, нікелю й кобальту були проведені для одного з районів Києва і території Київської обл. під час виконання наукових досліджень за загальнодержавною програмою "Земельні ресурси".

Особливо слід виділити комплексний характер досліджень, які тривають сьогодні для вирішення екологічних проблем, що характеризує системність підходу до вирішення як теоретичних, так і прикладних задач сучасної екології на території України. Це розробка і застосування різноманітних методик установлення рухомості важких металів у ґрунтах і чинників, що на неї впливають; виділення фонових значень вмісту важких металів у ґрунтах як критеріїв природного накопичення на прикладі заповідних зон і рудопроявів України: еколого-геохімічне картування ґрунтових відкладів за рухомими формами хімічних елементів; створення методики визначення ступеня екологічного ризику території за рухомими формами токсичних елементів у ґрунтах і геологічному середовищі природних та техногенних ландшафтів. Цьому питанню присвячені публікації останніх років: "К методике определения подвижных форм тяжелых металлов органической составляющей дерново-подзолистых почв" (1996), "Влияние буферной способности почв на подвижность цинка" (1996), "Тяжелые металлы в почвах заповедных зон Украины" (1997), "Моделирование сорбции тяжелых металлов глинистыми минералами почв" (2001), "Геохімічні критерії оцінки ступеня забруднення ґрунтів" (2003), "Определение территорий экологического риска по подвижным формам токсичных элементов" (2003).

У рамках міжнародної концепції про стійкий екологічний розвиток країн світового співтовариства за ініціативою і під керівництвом Е. Я. Жовинського вперше в Україні наприкінці 1980-х рр. були розпочаті і тривають до сьогодні масштабні дослідження еколого-геохімічного стану ґрунтів об'єктів заповідного фонду України (включаючи біосферні заповідники і національні парки). За результатами цих досліджень створюється комплексна система моніторингу заповідних і прилеглих до них територій з різним антропогенним навантаженням.

Пошук корисних копалин, створення власної мінерально-сировинної бази в Україні і нерозривно пов'язані з цим питання охорони навколишнього середовища набули натепер першочергового значення.

Треба відмітити, що в Інституті за ініціативою та під керівництвом Е. Я. Жовинського створена наукова школа пошукової та екологічної геохімії, у межах

якої підготовлені фахівці (І. В. Кураєва, А. І. Радченко, Н. О. Крюченко, С. М. Кулик та ін.), які активно розвивають ці наукові напрямки.

Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ

Надійшла 13.08.2008

РЕЗЮМЕ. В статье коротко охарактеризован вклад специалистов Института геохимии, минералогии и рудообразования им. Н. П. Семененко НАН Украины в развитие основных направлений поисковой и экологической геохимии — геохимии ландшафтов, геохимии осадочных пород, процессов литогенеза и гипергенеза, геохимии почв и отдельных элементов, геохимических методов поисков, биогеохимии, гидрогеохимии, медицинской геохимии, эколого-геохимического картирования.

SUMMARY. The paper gives a brief characteristic of contribution of specialists from M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine to development of the main trends of exploration and ecological geochemistry: landscape geochemistry, geochemistry of sedimentary rocks, lithogenesis and hypergenesis processes, soil geochemistry, geochemistry of certain elements, geochemical methods of exploration, biogeochemistry, hydrogeochemistry, medical geochemistry, ecologo-geochemical mapping.

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

УДК 550.4.01 + 553.2 (477)

В. М. Загнітко, О. Б. Бобров

Геохімія та рудоутворення (стан проблем та перспективи розвитку напрямів)

Україна є потужною сировинною країною, зокрема багатою на рудні родовища. Вчені Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України мають суттєвий доробок у вивченні рудних родовищ. Це підтверджується публікацією сотень статей та десятками монографій, які підготовлені за останні 15 років. У статті наведено короткий огляд частини цих робіт і виділені окремі проблеми, які потребують вирішення.

Із історії геохімічних досліджень в Україні. Відомо, що геохімія як самостійний напрямок геологічної науки виділилася на початку XX ст. (точніше у 1910–1912 рр.). Ця подія пов'язана з ім'ям нашого славетного земляка, одного з найвидатніших природознавців світу — В. І. Вернадського. Так сталося, що під час перебування в Україні, під Полтавою (с. Шишаки), В. І. Вернадський, за його словами, з'ясував для себе основні положення геохімії та біогеохімії. У 1919 р. В. І. Вернадський — перший президент Академії наук України, організував у Києві геохімічну лабораторію і був запрошений до складу Геологічного комітету України.

Деякі аспекти геології, які ми зараз назвали б геохімічними, є у дослідженнях І. А. Морозевича, який на початку століття вивчав послідовність формування лужних порід Приазов'я. А. А. Вериго звернув увагу на провідну роль геохімічних та біогеохімічних факторів у формуванні сольових відкладів лиманів півдня України. Одним з фундаторів геохімічних досліджень в Україні був, звичайно, Є. С. Бурксер, який ще у 1910 р. організував у Одесі радіологічну лабораторію і протягом усього свого життя плідно працював на ниві геохімії, очолюючи геохімічну секцію у секторі мінералогії та петрографії Інституту геологічних наук (ІГН) АН України (1930-ті рр.) та лабораторію віку гірських порід (середина минулого сторіччя).

Крім ІГН геохімічні дослідження проводилися у вищих учбових закладах, інтенсивний розвиток їх розпочався на виробництві. Цьому сприяли значні успіхи пошуків за допомогою геохімічних методів родовищ корисних копалин у Казахстані та Середній Азії. Поштовхом до активізації таких досліджень був також Наказ Головгеології України від 26 лютого 1963 р., внаслідок якого геохімічні методи було запроваджено у практику геологорозвідувальних робіт шляхом організації геохімічних партій в експедиціях.

Така увага до геохімії зумовила розвиток геохімічних досліджень у вузах, появу кафедр та спеціалізацій з геохімічних дисциплін. Лавина геохімічної інформації, яка з'явилася після цих організаційних нововведень, сприяла різкому збільшенню кількості публікацій з питань геохімії. Саме у цей час з'являються фундаментальні праці М. М. Івантішина, М. П. Семененка, В. Ю. Ветштейна, І. П. Лугової, М. П. Щербака, Б. Ф. Міцкевича та ін. Багато найновіших геохімічних ідей того часу

© В. М. Загнітко, О. Б. Бобров, 2008

реалізовувалися цими та іншими вченими в Україні. Зокрема, ізотопно-геохімічні дослідження були започатковані саме в Україні. Крім згаданих вище досліджень Є. С. Бурксера визначними були також роботи О. І. Бродського з колегами, які вже у 1937 р. змогли розділити ізотопи водню та кисню на сконструйованих ними приладах. Велике значення для розвитку цього напрямку науки мав вихід у 1957 р. фундаментальної праці О. І. Бродського "Химия изотопов" — однієї з перших у світі узагальнювальних праць такого змісту, окремі положення якої не втратили актуальності і дотепер. Розвиток геохімічної науки сприяв появі геохімічного центру на заході України — Інституту геології та металогенії (тепер Інститут геології та геохімії горючих копалин (ІГГГК) НАН України), створеного на базі Львівського філіалу ІГН. ІГГГК НАН України і тепер є провідним науковим центром з питань не тільки геохімії горючих копалин, але і геохімії процесів (потужна школа з термобарогеохімії під керівництвом В. А. Калюжного та ін.).

Суттєво новий етап розвитку геохімічних досліджень в Україні починається з 1969 р. — з часу виділення з Інституту геологічних наук нового дослідницького центру — Інституту геохімії та фізики мінералів (ІГФМ) АН УРСР (з 1993 р. — Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР)), засновником та першим директором якого став академік АН УРСР М. П. Семененко.

Дещо узагальнено можна виділити наступні генеральні напрямки у сучасній геохімії, які найбільш розвинені в Україні і, відповідно, в ІГМР: теоретична геохімія; ізотопна геохімія та геохронологія; геохімія процесів породо- та рудоутворення; геохімія довкілля та пошукова геохімія. До розвитку усіх цих розділів причетний М. П. Семененко, але найбільший внесок він зробив у теоретичну геохімію. Про наукову діяльність М. П. Семененка у галузі геохімії уже багато написано, особливо до 100-річчя від дня його народження та до 25-річчя організації ІГМР, можна тільки повторити, що це ціла епоха розвитку не тільки геохімії, а й усіх геологічних наук в Україні загалом і в ІГМР зокрема. Під час викладення окремих підрозділів ми ще повертатимемось до ідей та праць М. П. Семененка, але у дещо скороченому варіанті.

Геохімія процесів породоутворення. Це один із провідних наукових напрямків у сучасній геохімії. Зокрема, завдяки роботам М. П. Семененка, М. П. Щербака, Б. Ф. Міцкевича, К. Ю. Єсипчука, І. П. Щербаня, С. В. Нечаєва, В. М. Загнітка, О. О. Юшина, В. О. Сьомки, О. В. Ємця та ін. вивчені закономірності розподілу благородних, рідкісних і розсіяних елементів-домішок у магматичних, метаморфічних та рудних формаціях Українського щита (УЩ), досліджено баланс речовини у процесах магматичної й метаморфічної диференціації, а також метасоматичних перетвореннях, поводження елементів та їх ізотопів в осадових та рудоутворювальних процесах і багато ін.

Детально вивчені розповсюдження та умови накопичення рідкісних елементів у кристалічних породах України (Б. Ф. Міцкевич та ін.). До таких належать рідкісні лужні метали, берилій, стронцій, скандій, ітрій, лантаноїди, цирконій, гафній, ніобій, тантал, галій, германій та ін. Встановлено, що їх концентрація у більшості випадків пов'язана з метасоматичною зміною порід, головним чином з продуктами лужного та карбонатного метасоматозу.

Максимальною концентрацією рідкісних лужних металів характеризуються натрієві заміщені пегматити альбіт-сподуменового типу, пов'язані з глибинними розломами у рухливих зонах. Накопичення в них літію, рубідію та цезію зумовлено метасоматичними перетвореннями під впливом розчинів, збагачених леткими та рідкісними лугами.

Виконана систематика рідкісно-металевих метасоматитів, в основу якої покладені хімічні особливості провідного заміщення, лужно-кислотна еволюція метасоматичних розчинів та глибинність їх утворення. Виділено дві групи формацій

метасоматитів, пов'язаних, відповідно, з коровими (апогранітова, альбітитова, заміщених пегматитів) та мантійним (лужно-сієнітова, карбонатитова) джерелами речовини.

Вперше проведено вивчення широкого кола елементів відомих мінералопетрографічних типів карбонатитів України, їх породоутворювальних та акцесорних мінералів (С. Г. Кривдік, І. Ф. Шраменко, В. О. Стадник, В. К. Осадчий). Встановлено, що карбонатити докембрійського віку (Чернігівський масив) концентрують типоморфну для них асоціацію елементів — стронцій, барій, ніобій, рідкісноземельні. На відміну від кальцифірів навколо них утворюються поліелементні ендогенні ореоли. Розроблено геохімічні пошуково-оціночні критерії карбонатитового зруденіння (С. Г. Кривдік, 1996; І. Ф. Шраменко, 1998).

Проведено геохімічні дослідження гранітоїдів УЩ (К. Ю. Єсипчук, 1993, 1990). Встановлено, що розподіл елементів-домішок у гранітоїдах визначається трьома головними факторами: ступенем зрілості земної кори, кристалізаційною та еманаційною диференціацією, кислотністю-лужністю мінералоутворювального середовища. Виділено декілька груп елементів, які характеризуються різною поведінкою у процесі гранітоутворення. Елементи групи заліза та скандій типові для гранітоїдів ендербіт-плагіогранітової стадії формування земної кори та ранніх фаз становлення гранітоїдних комплексів чарнокіт-гранітної стадії. Стронцій, який виявляє спорідненість з кальцієм та натрієм, характерний для найдавніших гранітоїдів, утворення яких пов'язане з глибинними магматичними джерелами. Рубідій, літій, ніобій, ітрій та берилій збагачують граніти граносієніт-рапаківігранітної стадії та продукти їх метасоматичної переробки натрієвого ряду, а також пізні диференціати гранітоїдних комплексів чарнокіт-гранітної стадії. Лантан, церій, цирконій та свинець властиві раннім диференціатам гранітоїдних комплексів граносієніт-рапаківі-гранітної стадії та істотно калієвим гранітоїдам чарнокіт-гранітної стадії. Барій, що виявляє тісну спорідненість з калієм, — типовий елемент різних фацій граносієніт-рапаківігранітної стадії. Гранітоїди усіх трьох стадій, а також різних формацій та комплексів відрізняються характером кореляційних зв'язків між елементами та індивідуальними відношеннями деяких з них. Алохтонні граніти на відміну від автохтонних мають значно більш високий вміст свинцю.

Вивчено поведінку рідкісноземельних елементів (РЗЕ) у гранітоїдах. Встановлено, що гранітоїди ендербіт-плагіогранітної стадії характеризуються найнижчим вмістом РЗЕ, різкою перевагою лантаноїдів церієвої групи та позитивною європієвою аномалією. У гранітоїдах чарнокіт-гранітової стадії вміст РЗЕ коливається у широких межах; помітно підвищений вміст РЗЕ та підвищене відношення легких лантаноїдів до важких мають алохтонні граніти. Анатектичні граніти відрізняються від палінгенних чітко вираженою негативною європієвою аномалією, яка досягає максимуму в інтрузивних рідкіснометалевих гранітах граносієніт-рапаківігранітної стадії. Ці та інші граніти останньої стадії мають у цілому підвищений вміст РЗЕ, які досягають максимальної концентрації у найпізніших фазах інтрузивних комплексів.

Рудоутворення. В Україні на даний час на балансі ДКЗ нараховується понад 8000 родовищ, із яких значна частка — металеві. Вчені Інституту внесли суттєвий доробок у розвиток цього напрямку. Саме враховуючи значення такого напрямку для незалежної України та маючи на увазі особливий внесок співробітників ІГФМ, за ініціативи його директора — академіка М. П. Щербака назву Інституту було змінено у 1993 р., і він став Інститутом геохімії, мінералогії та рудоутворення. Здобутки дослідників Інституту у співдружності зі співробітниками інших закладів, викладені у численних тезах, статтях, препринтах та монографіях. У "Мінералогічному журналі", який видається Інститутом, в кожному номері виділяється рубрика "рудоутворення", кожен рік виходить також збірка праць

Інституту "Геохімія та рудоутворення". Багато робіт, що торкаються цього розділу, друкуються за кордоном, як у ближньому, так і далекому зарубіжжі. Зрозуміло, що всі ці матеріали проаналізувати неможливо, але спробуємо дуже коротко визначити головні тенденції в розвитку вчення про рудоутворення за період з 1994 р. (з часу виходу брошури до 25-річчя Інституту), виходячи в основному із аналізу підсумкових робіт, що підготовлені співробітниками Інституту або у співавторстві з колегами із інших закладів.

Головною подією цього періоду, на наш погляд, можна вважати вихід колективної двотомної монографії "Металічні та неметалічні корисні копалини України" (Д. С. Гурський, К. Ю. Єсипчук, В. І. Калінін та ін., 2004).

Книга побудована на промисловому принципі класифікації родовищ. Це, з одного боку, зручно, оскільки дозволяє досить швидко відшукати інформацію відносно конкретного металу чи групи корисних копалин, що зацікавили читача, позбавляє від зайвої суб'єктивності під час генетичної інтерпретації фактичного матеріалу, хоча, з іншого боку, така класифікація не завжди узгоджується з уже прийнятими в книгах, статтях та звітах організацій, підпорядкованих Геологічній службі, і з проектом концепції загальнодержавної програми розвитку мінеральних ресурсів України до 2010 р. і на подальшу перспективу.

Робота надзвичайно насичена деталями з геологічної будови кожного родовища та рудопрояву, в ній інколи, хоча і не завжди, наводяться також генетичні концепції окремих авторів та окремі спроби порівняння зі світовими аналогами.

Якщо аналізувати стан справ у галузі рудоутворення за принципом поділу на групи металів, як це використовується у вищезгаданій монографії, то слід зазначити, що із всіх груп металів (чорні, кольорові, рідкісні, благородні, радіоактивні) найбільша увага останнім часом приділяється рідкісним, кольоровим та благородним.

Із *чорних металів*, очевидно, виходячи із потреб забезпечення України цією групою сировини, найбільше уваги приділено титану та хрому, що стосується заліза, марганцю та ванадію, то, на жаль, після виходу серії фундаментальних робіт "Железисто-кремнистые формации мира" (Я. М. Бєлєвцев, М. П. Щербак та ін., 1984–1988) ними практично припинили цікавитися дослідники як Інституту, так і інших закладів, хоча світовий досвід показує, що ігнорування проблем сировинної бази, наприклад заліза, може мати дуже негативні наслідки для країн, що роблять ставку на цю галузь. Для України проблема полягає в тому, що окисні руди придатні в основному для малорентабельного доменного способу виробництва чавуну та сталі, а у всьому світі зараз домінує порошкова металургія, для якої необхідні високоякісні магнетитові руди. Такі руди в Україні наявні в Середньому Побужжі (Молдовська, Слюсарівська, Секретарська та інші магнітні аномалії) та в Приазов'ї (Мангуське, Корсак-Могила, Куксунгур та інші родовища). Важливо те, що всі ці прояви та родовища розташовані в районах з добре розвиненою інфраструктурою та збагачувальними комбінатами, які можна було б порівняно легко перепрофілювати на потрібний лад. Важливо також і те, що деякі з таких родовищ інколи містять карбонатно-магнетитові руди, які здатні самофлюсуватися, але технологічні випробовування їх до кінця не доведені.

Оскільки найбільш перспективними родовищами хрому в Україні вважається група родовищ Середнього Побужжя (Капітанівське, Деренюхінське та ін.), саме вони найбільш інтенсивно вивчаються останнім часом. Думки окремих дослідників щодо генезису цих родовищ деколи діаметрально розходяться. Зокрема, С. М. Цимбал та С. Г. Кривдік (2006) вважають ці родовища розшарованими інтрузіями, а В. О. Сьомка — своєрідними метасоматично-скарновими утвореннями (2006). На жаль, до цих пір достовірно не встановлено вік вказаних родовищ, що дало б можливість корелювати їх зі світовими

аналогами.

Т и т а н — елемент, за запасами якого Україна займає одне із провідних місць у світі, але, на відміну від заліза, йому, як і раніше, приділяється велика увага, щоправда, більшою мірою магматичним родовищам (С. Г. Кривдік, 2005; Л. В. Шумлянський, 2004). Особливо цікавими є дослідження титан-апатитових комплексних родовищ і це виправдано, оскільки Україна імпортує апатит (в основному із Росії), хоча, як бачимо, має свою перспективну сировинну базу. Якість титанових руд, окрім того, значно вища саме із корінних магматогенних родовищ.

Кольорові метали завжди були в полі зору співробітників Інституту. Зокрема, останнім часом інтенсифікувались дослідження рудопроявів міді в зв'язку із розвідкою таких проявів у трапах Волино-Подільської плити, де виділено чотири рудні вузли (Ратненський, Рафалівський, Кухотськовольський, Шепетівський) та у Бахмутській улоговині. Суперечка стосовно генезису цих родовищ (О. В. Ємець, В. М. Загнітко, В. Л. Приходько, 2006; В. О. Шумлянський та ін., 2004; В. М. Квасниця, 2007) тільки підігріває інтерес до цих об'єктів. Зокрема, В. О. Шумлянський зі співавторами відстоює парагідротермальну модель концентрації міді, в той час як О. В. Ємець на основі ретельних мінералого- та ізотопно-геохімічних досліджень висуває концепцію гідротермально-метасоматичного способу рудоутворення. Особливо хотілося б відзначити роботу, в якій викладено результати ізотопного визначення вендського віку міденосних трапів Волині (Л. В. Шумлянський, 2004). Цікавим і насиченим фактичним матеріалом є також цикл робіт з порівняння мідних проявів України з подібними родовищами Передсудеття (О. В. Ємець та ін., 2006, 2005).

А л ю м і н і й теж є стратегічним металом для промисловості України, особливо враховуючи відсутність власних промислових родовищ бокситів чи їх замінників. У цьому плані цікавою є монографія (О. М. Донської, Є. О. Куліш, М. О. Донский, 2004), в якій, окрім геології та геохімії нефелінових порід, розглядаються технології виробництва алюмінію з високоглиноземистих порід. Як відомо, ці технології були розроблені ще за ініціативи М. П. Семененка в 70-х рр. минулого сторіччя, але, на жаль, до цих пір не отримали відповідної чіткої промислової оцінки. Якоюсь мірою на позитивне вирішення цієї проблеми, вірогідно, впливає негативний досвід Росії в застосуванні цих технологій, особливо враховуючи різке зростання цін на енергоносії (а таке виробництво поки що є надзвичайно енергозатратним).

Н і к е л ь, частину потреб в якому задовольняли раніше за рахунок екзогенних родовищ Середнього Побужжя, які вичерпуються, теж стає дефіцитним металом для вітчизняної промисловості, тому дуже важливими є пошуки родовищ інших типів, зокрема сульфідно-нікелевих. Після відкриття та досить інтенсивного дослідження таких родовищ наприкінці минулого століття (В. М. Скобелєв, 1988; С. А. Галій та ін., 1976) і розвідувальні роботи на них, і їх вивчення зараз практично припинились, можна назвати тільки окремі публікації (Л. В. Шумлянський, 2005), в яких розглядаються питання віку та складу нікеленосних гіпербазитів Волинського мегаблоку.

С в и н е ц ь т а ц и н к, як відомо, Україною експортуються, хоча існують реальні перспективи їх видобування в нашій країні. Проблемам вивчення речовинного складу та будови цих проявів та родовищ присвячені окремі роботи співробітників Інституту та колег із інших закладів. Зокрема, в роботах О. В. Ємця та ін.; Л. З. Скакуна та ін. досліджуються особливості мінеральних взаємовідносин в системі пірит — галеніт — халькопірит — сульфосолі та ін. і робиться висновок про певні термодинамічні умови рівноваги в цих системах.

Рідкісні та рідкісноземельні метали традиційно досить активно вивчаються в Україні і Інституті, можна говорити навіть про деякий пріоритет вчених ІГМР ім. М. П. Семененка в цьому на-

прямку, маючи на увазі як монографії Б. Ф. Міцкевича та його співробітників (Б. Ф. Міцкевич та ін., 1983, 1984), так і роботи останніх років (В. І. Павлишин та ін., 2001; С. Г. Кривдік, В. С. Мельников, В. М. Загнітко, 2002). Про підвищений інтерес до проблеми мінералогії, петрографії та генезису родовищ рідкісних та рідкісноземельних елементів свідчать декілька спеціальних випусків "Мінералогічного журналу" (1999, 2002), а також проведення за активної участі співробітників Інституту міжнародної наради "Стан та перспективи... " (Київ, 2001), організація періодичних міжнародних нарад в Донецьку (БРДМ-2000, 2002 та ін.). Доробок вчених Інституту за останні 15 років, як уже згадувалось, досить суттєвий, це, перш за все, комплекс робіт з мінералогії, геохімії та генезису літієвих пегматитів (В. І. Павлишин та ін., 1998; В. М. Бугаєнко, В. О. Сьомка, 1998 і багато ін.), цикл робіт, присвячених особливостям мінералогії та генезису Азовського рідкісноземельного родовища (В. С. Мельников та ін., 2004, 2005 тощо), підсумкові роботи з геології та генезису рідкіснометалевих родовищ України (В. С. Мельников, С. Г. Кривдік, В. М. Загнітко, 2002).

Благородні метали — найбільш популярна тема в дослідженнях геологів-рудників останніх 20 років, особливо стосовно золота. Цьому сприяла, окрім самої привабливості такої теми та стратегічного значення цієї групи металів, допомога державних структур, зокрема впровадження і більш-менш успішне виконання програми "Золото України" (1996). Завдяки інтенсивному впровадженню та пріоритетному фінансуванню цієї програми за короткий час було відкрито та детально вивчено декілька десятків проявів та родовищ золота і деякі з них введено в експлуатацію (зокрема Мужієвське та "Сауляк"). Було видано декілька монографій, препринтів, сотні статей, суттєву частку котрих складають роботи співробітників ІГМР. Важливими їхніми здобутками на шляху та в результаті виконання цих робіт можна вважати: 1. Встановлення генетичних особливостей основних родовищ золота, їх формаційної приналежності та мінерального складу (В. М. Квасниця, 2001, 2003; Д. К. Возняк, 2004 та ін.; В. С. Монахов та ін., 2002; Г. М. Яценко, О. К. Бабинін та ін., 1998; О. Б. Бобров та ін., 2004 і багато ін.).

2. Визначення ізотопного віку мінералів, порід та рудних асоціацій, що дає змогу зіставляти їх з часом проходження деяких мінералоутворювальних процесів на золоторудних родовищах (М. П. Щербак та ін., 1998; О. В. Грінченко, 2002 та ін.).

3. Реставрація генезису рудоутворювальних розчинів на основі визначення ізотопного складу рудних парагенезисів, які показують участь різних джерел вод, зокрема і метеорних, у рудних процесах (В. М. Загнітко, 1998, 2002; В. Б. Коваль та ін., 1996 та ін.).

Метали платинової групи (МПГ). Як і раніше, проблемою для України залишається виявлення проявів та родовищ платиноїдів і цій проблемі були присвячені окремі наради в Геологічній службі України, а також низка публікацій у вітчизняних та зарубіжних виданнях. Зокрема, в роботах О. О. Юшина (1996, 2004 та ін.) на основі аналізу геохімічних асоціацій вказується на більш реальну перспективу відкриття нетрадиційних родовищ МПГ. Привертають до себе увагу роботи, в яких було визначено мінеральні форми платиноїдів на нових об'єктах, зокрема на Чемерпільській ділянці (В. М. Квасниця та ін., 2003).

На нашу думку (О. Б. Бобров, 2007), в Україні слід очікувати: 1 — реальних перспектив відкриття родовищ МПГ традиційного типу у зв'язку із базит-ультрабазитовими масивами і продуктами їх метасоматичних перетворень у Середньому Придніпров'ї, Криворізько-Кременчуцькій і Красногірсько-Житомирській зонах, а також на теренах Середнього Побужжя, Приазов'я та інших районів УЩ; 2 — потенційно високих перспектив у різних районах на нетрадиційні типи платиноїдного зруденіння: золоторудних формацій усіх типів й різного віку, рідкіснометалево-рідкісноземельних руд-

них формацій у зв'язку з калішпатовими метасоматитами, "чорносланцевих" формацій різної формаційної і вікової приналежності (гданцівська, глеюватська світи Криворізької структури, садова світа Сорокинської структури, михайлівська та переверзівська світи Верхівцевської структури та ін.) з рудопроявами або геохімічними аномаліями золота, срібла, урану, ванадію, РЗЕ, стратифікованих рудних формаціях типу мідістих пісковиків, сланців та вулканітів; 3 — спеціальної ревізії на МПГ базитів із титано-магнетитовим зруденінням в інтрузіях коростенського комплексу, розсипних родовищ ільменіту і циркону, фосфоритоносних осадових порід, а також червоноколірних евапоритових товщ.

С р і б л о залишається порівняно малопопулярним металом в роботах співробітників як Інституту, так і інших закладів України (О. В. Ємець, В. М. Загнітко, Л. З. Скакун, 2001). Перспективи відкриття нових родовищ, окрім уже відомих комплексних поліметалічних та супутніх з кольоровими та іншими благородними металами, вважаються не дуже обнадійливими, але знаходження нових мінеральних форм срібла в окремих рудних вузлах УЩ (Кочерівська структура, Пержанська зона, Чортомлицька структура, Кіровоградська зона та ін.) (С. М. Бондаренко, В. О. Сьомка, 2002) вимагає більш уважного ставлення до цієї проблеми і свідчить про недостатній рівень вивченості сріблоносності структур УЩ.

Радіоактивним металам останнім часом знову приділяється особлива увага, що підтверджено виходом низки оглядових монографій (В. Б. Коваль та ін., 2001; В. А. Михайлов, 2006; Є. О. Куліш, В. А. Михайлов, 2004; В. М. Гулій, 2008) та конкретних статей (M. Cuney, M. P. Shcherbak et al., 2008). Очевидно, це пов'язано з необхідністю як посилення енергетичної незалежності України, зокрема переходу на власний замкнений ядерний цикл, так і пошуку нових, рентабельних типів родовищ (типу незгідності та ін.), і на цьому шляху теж є певні перспективи.

Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, Київ
УкрДГРІ М-ва охорони
навколиш. природ. середовища України, Київ

Надійшла 27.08.2008

РЕЗЮМЕ. Украина — мощное сырьевое государство, в частности богатое рудными месторождениями. Ученые Института геохимии, минералогии и рудообразования им. Н. П. Семененко НАН Украины внесли существенный вклад в изучение рудных месторождений. Это подтверждается публикацией сотен статей и десятков монографий, подготовленных за последние 15 лет. В статье приведен краткий анализ части этих работ и выделены отдельные проблемы, требующие решения.

SUMMARY. Ukraine is the powerful raw material country, which is rich in the ore deposits in particular. The scientists of M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine have contributed the progress to an investigation of ore deposits. It is confirmed by hundreds of papers and tens monographs issued during last 15 years. In the article a brief review of part of these works is presented and some problems required of solution are definited.

МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

До 100-річчя від дня народження академіка В. С. Соболєва

На сторінках "Мінералогічного журналу" (1988, 1998) широко освітлювався творчий і життєвий шлях петролога, мінералога академіка Володимира Степановича Соболєва з нагоди 80- та 90-річчя з дня народження. Навіть в цьому номері журналу в статтях, присвячених досягненням українських вчених в галузі мінералогії та петрології за 90 років існування Української Академії наук, ім'я В. С. Соболєва з великою шаною згадується поруч з іменами корифеїв вітчизняної і світової науки. До цих публікацій важко додати щось нове про великого вченого. Можна лише сказати, що найбільш відомі наукові праці В. С. Соболєва ще за його життя стали класичними, а з часом їх значення та актуальність не зменшуються (як і всі геніальні твори науки та культури).

В Україні (у Львові) В. С. Соболєв жив і працював у післявоєнні роки (1945–1958). Цей період називають львівським, йому передував ленінградський (1926–1943), а з 1958 по 1982 р. був новосибірський.

30 травня 2008 р. виповнилося 100 років з дня народження академіка, лауреата Ленінської та Державної премій В. С. Соболєва (помер 1.09.1982). Він народився, виріс і здобув шкільну освіту в Україні (Луганськ, Вінниця), а у 1926-1930 рр. навчався в Ленінграді (Гірничий інститут) за спеціальністю "гірничий інженер-петрограф". Ще в ленінградський період проявився науковий, педагогічний та організаторський талант В. С. Соболєва (він обіймав посади завідувача петрографічної лабораторії Ленінградського центрального науково-дослідного геологорозвідувального інституту; асистента, доцента, професора кафедр кристалографії та петрографії Ленінградського гірничого інституту). У 1937 р. В. С. Соболєву було присвоєно науковий ступінь кандидата, а в 1938 р. — доктора геолого-мінералогічних наук за його першу видатну монографію "Петрология траппов Сибирской платформы".

У Львів В. С. Соболєва як видатного вченого було направлено, як це практикувалося в ті часи, з міркувань укріплення геологічної науки та підняття авторитету радянської влади в Західній Україні (перед тим приєднаної до УРСР). І львівський період виявився дуже плідним для вченого, а його науковими працями з петрології й мінералогії Коростенського плутону та вулканічних порід Закарпаття зачитуються і сучасні дослідники. В цей же період

ISSN 0204-3548. Mineral. Journ. (Ukraine). — 2008. — 30, No 3

В. С. Соболєвим були написані узагальнюючі та оглядові праці з мінералогії силікатів (1949) та з геології родовищ алмазів Африки, Австралії, о-ва Борнео та Америки (1951). У Львові В. С. Соболєв проводив також активну навчально-методичну роботу, читав курс петрографії кристалічних порід, спецкурси — "Федорівський метод", "Фізико-хімічні основи мінералогії та петрографії"; видав навчальний посібник "Фёдоровский метод" (1954); підготував до друку посібники В. М. Лодочнікова "Главнейшие породообразующие минералы" (1947, 1955), "Краткая петрология без микроскопа для неспециалистов" (1956).

Монографія "Введение в минералогию силикатов" (1949), одна з найвідоміших праць В. С. Соболєва, була удостоєна Державної премії СРСР та Почесної грамоти Всесоюзного мінералогічного товариства. У цій монографії, яка має власне мінералогічну назву, розглянуто низку питань та проблем петрології і напрямки їхнього вирішення (фізико-хімічні умови кристалізації мінералів, залежність структури та координаційного числа катіонів у мінералах від тиску й температури, процеси магматизму, метаморфізму, метасоматозу, парагенетичного аналізу та ін.). У ній було закладено проект та основи майбутніх досліджень ендогенного петрогенезису магматичних та метаморфічних порід. Наступні монографії з цієї проблеми принесли автору світову славу та присвоєння звання академіка АН СРСР.

Монографія "Петрология восточной части сложного Коростенского плутона" є і сьогодні однією з найцікавіших робіт як, зокрема, з цього плутону, так і з анортозит-рапаківігранітної формації загалом. В. С. Соболєв оригінально пояснив асоціацію основних і кислих порід плутону, пов'язуючи їх формування з процесами асиміляції та кристалізаційної диференціації. У сучасній петрологічній і геофізичній літературі прийнято подібні асоціації порід називати мантійно-коровою сумішшю. Можна визначити, що наведені хімічні аналізи порід (зокрема, гранітів групи рапаківі з низьким вмістом MgO) є більш досконалими, ніж більшість таких в багатьох наступних публікаціях інших дослідників.

Такою ж чіткою і досконалою є і невелика стаття В. С. Соболєва про лужні сієніти Коростенського плутону (починаючи від прив'язки, геологічної позиції та закінчуючи петрографією й мінералогією цих порід).

Вченим було запропоновано спрощені діаграми для визначення залізистості біотитів, рогових обманок та піроксенів за їхніми оптичними властивостями.

За наукову, педагогічну та організаційну діяльність В. С. Соболєва в 1951 р. було обрано член-кореспондентом АН УРСР, а в 1958 р. — академіком АН СРСР.

В. С. Соболєв завжди цікавився проблемами глибинної петрології та генезисом кімберлітів й алмазів. Крім згаданої оглядової монографії з родовищ алмазів, він був науковим редактором перших монографій "Алмазы Сибири" (1957) і "Алмазные месторождения Якутии" (1959). Ще в довоєнні роки В. С. Соболєвим було обґрунтовано перспективність алмазоносності Сибірської платформи, яку він порівнював з Південно-Африканською.

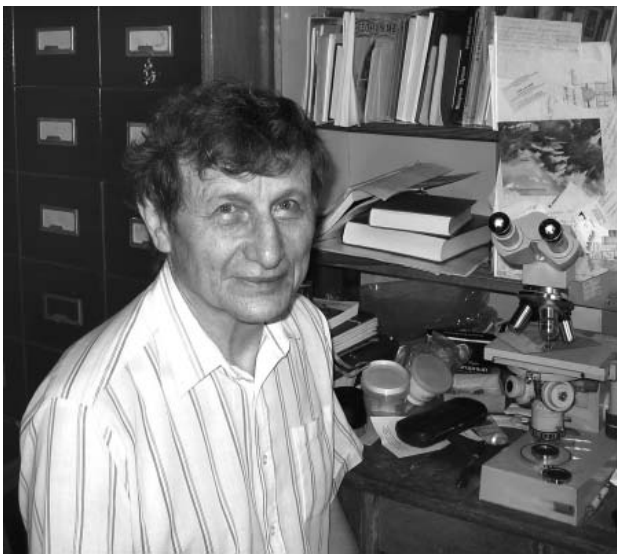
Друга світова війна завадила проведенню відповідних геологорозвідувальних робіт, а після війни передбачення В. С. Соболєва блискуче підтвердились. Як відзначалося в одному з некрологів (Бабич та ін., 1982) "наука знає небагато прикладів таких видатних прогнозів, які б оправдалися за короткий час і привели до відкриття сировини, так необхідної країні для інтенсивного технічного прогресу".

Із інших найбільш відомих робіт вже новосибірського періоду В. С. Соболєва згадаємо "Физико-химические основы петрографии изверженных горных пород" (1961) (у співавторстві з О. М. Заварицьким) та "Фации метаморфизма" у чотирьох томах (1970–1974) (у співавторстві з вченими ІГіГ СВ АН СРСР). За останню роботу авторський колектив отримав Ленінську премію (1976). Посмертно вийшла монографія "Петрология верхней мантии и происхождение алмазов" (1989).

Створена В. С. Соболєвим новосибірська петрологічна школа — одна з найбільших і найавторитетніших у колишньому СРСР та світі. Під його керівництвом закладені основи нових напрямків у геологічній науці: створення карт метаморфізму, вчення про метаморфічні формації та зв'язок з ними корисних копалин, розвинуті положення про склад і будову верхньої мантії, що базуються на теоретичних та експериментальних даних і дослідженні глибинних ксенолітів із кімберлітів.

В. С. Соболєв мав великий авторитет у науковому світі. Він певний час очолював Петрографічний комітет СРСР, був почесним членом геологічних товариств Чехословаччини, Угорщини, Болгарії, президентом Міжнародної мінералогічної асоціації. Україна разом зі світовою спільнотою гідно вшановує 100-річчя свого видатного земляка. На будинках геологічного факультету Львівського університету та ОІГГМ СВ РАН (Новосибірськ), де працював В. С. Соболєв, встановлені меморіальні дошки. З 1983 р. у Новосибірську регулярно відбуваються Соболевські наукові читання. З нагоди ювілею знаного вченого геологічний факультет Львівського національного університету ім. Івана Франка разом з Інститутом геології і геохімії горючих копалин НАН України провели 11–12 червня Міжнародну наукову академію "Актуальні проблеми мінералогії і петрології (до 100-річчя від дня народження академіка В. С. Соболєва)", де був присутній син вченого академік М. В. Соболєв.

ВОЗНЯКУ ДМИТРУ КОСТЯНТИНОВИЧУ — 70



Він народився конструктором. Напевне мріяв конструювати літальні апарати, бо півстоліття збирає книги про літаки і хотів навчатися на механічному факультеті. Безпомилково на звук визначає марку літака, коли той заховався за хмарами. Натомість йому довелось конструювати камери і прилади, що допомагають проникати у таємниці глибин Землі, аж до верхньої мантії.

Майстерність була властива всім українцям, що проживали на Лемківщині, де 22 листопада 1938 р. народився наш ювіляр. У 1945 р. ці землі після операції "Вісла" відійшли до Жешівського воєводства Польщі, а велику родину Возняків забрали від їхніх облаштованих домівок і волею "батька народів" розкидали по Україні. Дмитрові батьки з трьома дітьми після двох років поневірянь осіли у передмісті Львова. З цим містом пов'язані найкращі спогади шкільних і університетських років ювіляра. Тут він розпочав свою наукову кар'єру, тут знайшов своє друге захоплення — флюїдні включення у мінералах, які відтіснили літаки на другий план.

Обставини так склалися, що замість механіко-математичного Дмитро потрапив у групу геохіміків геологічного факультету Львівського держуніверситету ім. Івана Франка, який закінчив у 1960 р. За оцінкою академіка В. С. Соболєва, одного з вчителів Дмитра Возняка, ця група була найсильніша за час його викладацької роботи в Львівському університеті. Досить сказати, що серед геохіміків-випускників є шість докторів і значно більше кандидатів наук, так що позмагатися під час навчання було з ким. Деякі проблеми зі здоров'ям не дозволили молодому випускнику поїхати за призначенням у Казахстан. Він залишився працювати на геологічному факультеті, в якому був досить сильний науково-дослідний сектор. Волинська експедиція Львівського наукового товариства, в якій Д. Возняк розпочав свою трудову кар'єру, на все життя прив'язала його до камерних пегматитів, на Волині він знайшов свою другу половинку.

Йому пощастило — доля звела молодого допитливого випускника з конструктивним мисленням і вмілими руками з таким самим за характером, але вже досвідченим вченим. Володимир Антонович Калюжний на той час вже був всесвітньо відомим дослідником включень, автором монографії "Методи вивчення багатофазових включень у мінералах", що виділявся новаторським підходом, впровадженням нових методів і пошуком методик для вивчення включень. Такий учень, як Дмитро Возняк, був для нього справжньою знахідкою. Дуже скоро його

прізвище постійно зустрічається поруч з прізвищем В. Калюжного в наукових статтях, що відразу ставали класичними. До того часу, як учень зібрався вступити до аспірантури, він уже був не менш відомим, ніж його вчитель.

Аспірантура під керівництвом академіка Є. К. Лазаренка фактично була справою формальною. Вже через рік (в 1971 р.), достроково, Д. Возняк захищає кандидатську дисертацію на тему: "Физико-химическая характеристика минералообразующих растворов периода формирования занорыша пегматитов Волыни (по включениям в минералах)". Його залишають працювати у недавно створеному відділі регіональної і генетичної мінералогії, який у 1972 р. знайшов свою остаточну прописку в Інституті геохімії і фізики мінералів АН УРСР (нині Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) ім. М. П. Семененка НАН України). Створений за ініціативи академіка Є. К. Лазаренка і під його керівництвом відділ мав бути осередком новітніх методів дослідження мінералів. На Д. Возняка було покладене створення лабораторії мінералофлюїдології (або термобарогеохімії) для дослідження флюїдних включень у мінералах, з чим він успішно справився. Навряд чи знайдеться ще одна така людина, якій було б під силу те, що він тоді зробив. Він був одночасно і дослідником, і вчителем (кадри ще були зовсім "зелені"), а найголовніше — винахідником, конструктором, випробувачем власної апаратури.

У ті часи апаратуру для дослідження включень не можна було купити і за кордоном, бо молода наука стрімко випереджала приладобудування. Та за короткий строк завдяки старанням енергійного керівника (формально — молодшого наукового співробітника) лабораторія була укомплектована високоточними нагрівальними камерами у діапазоні 20–600 і 20–1600 °С та охолоджувальними камерами, де у якості кріоагента використовували зріджений азот (діапазон від 150 до –196 °С) і гелій (до –250 °С і нижче). Лише першу з них було названо камерою конструкції В. А. Калюжного, всі інші — власні дітища Д. Возняка. Всі конструкції робилися методом проб і помилок, тому так би мовити серійній моделі передувало безліч моделей експериментальних. Вони досі зберігаються у лабораторії і цілком заслуговують на те, щоби стати експонатами у майбутньому музеї мінералофлюїдології.

А скільки праці було вкладено у газовохроматографічний аналіз! Серійні моделі газових хроматографів, навіть прилаштовані для дослідження флюїдів із включень, не відповідали потребам науки. Із блоків, списаних і підібраних буквально на смітниках, Дмитро Костянтинович власними силами виготовив ряд приставок, що давали змогу з однієї наважки на одному сорбенті визначати всі найважливіші газові компоненти флюїдних включень і таким чином оперувати не лише відносними, але й абсолютними значеннями вмісту летких компонентів.

Дмитро Возняк не лише конструктор, перш за все він дослідник. Його наукові здобутки широко відомі, про них можна дізнатися з понад двох сотень наукових праць і з монографії "Мікровключення та реконструкція умов ендогенного мінералоутворення", що недавно випустило видавництво "Наукова думка" (див. наступний випуск МЖ), але ніде не сказано, яким чином досягнуто цих результатів. Адже саме завдяки апаратурі власної конструкції вивчення включень було підкріплене "мірою і числом". Як наслідок — ціла низка реконструкцій умов мінералоутворення: від золоторудного процесу до кімберлітоутворення. Ці наукові досягнення лягли в основу його докторської дисертації "Флюїдні включення у мінералах як індикатор ендогенного мінералоутворення", яку Д. К. Возняк блискуче захистив у 2003 р.

Дмитро Костянтинович людина не амбіційна і в адміністратори ніколи не прагнув. Доля розпорядилася так, що йому прийшлось очолити відділ регіональної та генетичної мінералогії, до створення лабораторної бази якого він доклав стільки зусиль. З його боку це був подвиг. Він взяв на себе цей тягар в ім'я науки, перед пам'яттю академіка Є. К. Лазаренка, прагнучи зберегти створений ним відділ, і несе його з честю. Так тримати!

МЕЛЬНИКОВУ ВОЛОДИМИРУ СТЕПАНОВИЧУ — 70

4 серпня цього року виповнилось 70 років Володимиру Степановичу Мельникову — провідному науковому співробітнику Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України.

Володимир Мельников належить до тих учених, про масштаб яких судять не за науковими ступенями і званнями. Широка наукова громадськість знає Володимира Степановича за його блискучими роботами, цінує його авторитет спеціаліста в області рентгеноструктурного аналізу, структурної й загальної мінералогії та фізики твердого тіла, автора майже 400 наукових праць.

Фанатичне захоплення наукою дісталося йому в спадок від батьків-викладачів, що читали курс біології у вишах Львова. Народився він у містечку Сітківці, що на Вінниччині, але початок його свідомого життя пов'язаний зі Львовом, з його давньою культурою. Тут він закінчив середню школу, вступив до Львівського державного (нині — національного) університету ім. Івана Франка, зробив перші кроки як глава сім'ї, тут розпочав свою наукову кар'єру. На відміну від батьків, він вибрав професію геолога, що найбільше відповідала його допитливій, прискіпливій й водночас романтичній натурі.

Тому не дивно, що після успішного завершення навчання на геологічному факультеті в 1961 р. він з дипломом геолога-геохіміка поїхав працювати у м. Норильськ, де відразу захопився і мінералогією Норильського мідно-нікелевого родовища, і технологією переробки руд. Так склалися обставини, що продовжувати мінералогічні дослідження Володимиру Мельникову довелось уже у Львові, у проблемній лабораторії геохімії університету, де він пройшов ази рентгенофазового аналізу. "Об изменении состава пирротинов в интрузии Норильск-1" — так називалася одна із перших наукових робіт нашого ювіляра.

Після міжнародної наради з мінералогії глин, що відбулась у Львові 1957 р., увагу наукової громадськості привернули шаруваті силікати, для вивчення яких було залучено рентгенівські методи. В. Мельников з головою занурюється у вивчення шаруватих і змішаношаруватих силікатів — від їхньої мінералогії до кристалохімії. Зокрема, увагу вченого привертають кукеїт, тарасовіт, ректорит, номенклатура яких потребувала уточнення. Уже кваліфікованим спеціалістом, з готовим науковим багажем він вступає до аспірантури при Інституті геохімії та фізики мінералів АН УРСР (нині Інститут геохімії, мінералогії та ру-

ISSN 0204-3548. Mineral. Journ. (Ukraine). — 2008. — 30, No 3

доутворення (ІГМР) ім. М. П. Семененка НАН України) у відділ кристалохімії і мінералогії. Його науковим керівником був О. С. Поваренних — всесвітньовідомий кристалохімік, у майбутньому академік АН УРСР. За роботу "Некоторые вопросы кристаллохимии и минералогии смешанослоистых силикатов" В. С. Мельников у 1974 р. отримав науковий ступінь кандидата геолого-мінералогічних наук.

Подальше життя Володимира Степановича пов'язане з Києвом, з нинішнім ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, з відділом регіональної та генетичної мінералогії. Попри те, що він обіймав різні посади — від молодшого до провідного наукового співробітника, він був і залишається завідувачем лабораторії рентгеноструктурного аналізу при відділі, хоча така посада існувала недовго. Цю лабораторію В. С. Мельников створив за активного сприяння академіка Є. К. Лазаренка, що був завідувачем відділу і допоміг придбати сучасне на той час обладнання — дифрактометр ДРОН-2, рентгенівський гострофокусний апарат АРОС, рентгенівський прилад для структурного аналізу типу УРС-60, які наш ювіляр налаштував власноруч. Слід віддати належне Володимиру Степановичу, що у найважчі роки економічного занепаду науки, в умовах нестачі електроенергії, води і запчастин, лабораторія не припиняла роботи. Вчений брався за різні роботи, по крихтах збирав фінанси, щоб утримати лабораторію "на плаву" і допомогти вижити співробітникам. Крім того, він читав курс лекцій з кристалохімії студентам і виховав не одного кваліфікованого фахівця.

Коло наукових інтересів ювіляра широке — від вторинних сульфатів і мінеральних новоутворень з териконів до мінеральних парагенезисів верхньої мантії, від пегматитів і гідротермальних жил до розшарованих інтрузій, від мінерального складу глин до фазового складу полікристалічних природних алмазів, від викопних скелетів до надтвердих плівок — скрізь залишив частку своєї праці наш ювіляр. Однак серед цих проблем є декілька, яким він приділив найбільше уваги: шаруваті і змішаношаруваті силікати, з яких він розпочав свою наукову кар'єру і час від часу повертається до проблеми їх номенклатури; мінералогія і кристалохімія польових шпатів, зокрема лужних польових шпатів (ЛПШ); кристалохімія високотемпературної надпровідної кераміки, якій присвячена майже половина наукових праць ювіляра. Разом зі співробітниками Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля та Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України він вивчає залежність критичних параметрів усіх відомих надпровідникових сполук перовськітоподібної структури від таких кристалохімічних характеристик, як симетрія, катіонні заміщення та киснева нестехіометрія. Його дослідження надпровідникових плівок показали, що така відома характеристика кристалів, як мозаїчність, суттєво впливає на функціональні характеристики епітаксіальних плівок. Майже одночасно з американськими дослідниками ними була відкрита і досліджена сполука $Pb_2Sr_2Y_{1-x}Ca_xCu_3O_{8-\delta}$. Слід відзначити, що дослідження В. С. Мельниковим (зі співавторами) кисневої нестехіометрії фази $YBa_2Cu_8O_{8-\delta}$ мало важливе теоретичне і практичне значення.

Проте найулюбленішим об'єктом дослідження все ж таки залишилися польові шпати. Ступінь впорядкованості ЛПШ, геометричні характеристики макро- і криптодвійникових структур, орієнтація пертитів і ступінь їх когерентності — ті "білі" плями в мінералогії ЛПШ, які ювіляру вдалося перекрити. Його дослідження двійникової структури ЛПШ увійшли до публікацій "Evolution of twin structure of alkali feldspars. 1. Feldspars, enriched with potassium" (2001), "Evolution of twin structure of alkali feldspars. 2. Feldspars, enriched with sodium" (2003), "Трансформация твид-структуры ортоклаза в решетчатый микроклин" (2005). Поза сумнівом, він — найавторитетніший фахівець в Україні з питань мінералогії ЛПШ, та й у світі таких небагато знайдеться. Власноруч розроблений рентгенівський експрес-метод визначення структурних характеристик

мінералів, зокрема ступеня впорядкованості ЛПШ, В. С. Мельников активно впроваджує в практику геологічних робіт як елемент мінералогічного картування і пошуковий критерій.

Структурні особливості ЛПШ з розшарованих сієнітових інтрузій "вивели" його на причини розшарованості і зв'язок з нею рудоносності, що завершилося створенням генетичної моделі Азовського родовища. Глибокі знання структури шаруватих силікатів дозволили Володимиру Мельникову легко розв'язати проблеми цементної промисловості, а всебічне вивчення природних алмазів — сприяти розробці технології для вирощування епітаксійних алмазних плівок для потреб важкої промисловості.

Що буде завтра? Знаємо точно, що цим інтереси і досягнення Володимира Степановича не обмежаться.

Сердечно вітаючи Володимира Степановича з ювілеєм, наукова громадськість, колеги Інституту, редколегія і редакція "Мінералогічного журналу" бажають йому міцного здоров'я на довгі роки, щоби продовжувати успішно "гризти" граніт науки і попри дорослий вік надалі зберегти юнацьку захопленість усім загадковим і незвіданим.

До 60-річчя МИХАЙЛА МИКОЛАЙОВИЧА ТАРАНА

18 жовтня 2008 р. виповнюється 60 років відомому українському вченому-мінералогу, знаному в світі фахівцю в галузі фізики мінералів, доктору геолого-мінералогічних наук Михайлові Миколайовичу Тарану.

Майбутній дослідник народився у с. Савинці Балаклійського р-ну Харківської обл. у родині вчителя історії місцевої школи Миколи Михайловича та медичної сестри селищної лікарні Наталі Петрівни Таранів. По закінченні школи Михайло став на нелегкий самостійний шлях. Він працював у Донецькому фізико-технічному інституті у відділі електронних властивостей твердого тіла, одночасно навчаючись у Донецькому державному університеті, який успішно закінчив у 1972 р., одержавши фах фізика.

Потім — навчання в аспірантурі Інституту геохімії та фізики мінералів АН УРСР (нині — Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України) у відділі оптичної спектроскопії під науковим керівництвом доктора геолого-мінералогічних наук О. М. Платонова, засновника української наукової школи з цього напрямку фізики мінералів. Саме тоді сформувалися основні наукові інтереси Михайла Миколайовича, пов'язані з вивченням природи оптичних спектрів поглинання та забарвлення мінералів, виявлення залежності їх від особливостей структури, хімічного складу, умов утворення та післякристалізаційної історії. Разом з колегами М. М. Таран розробляє методику колориметричних досліджень мінералів й плідно застосовує цей підхід до вивчення коштовного каміння. У 1979 р. стає кандидатом геолого-мінералогічних наук.

У той же час розкрився також інженерно-конструкторський талант молодого дослідника. Вчений багато зусиль спрямовував на конструювання експериментальних мікроспектрометричних приладів, що відзначалися високою чутливістю і роздільною здатністю, необхідними для досліджень електронних спектрів мінералів. Створені ним спектрометри і досі за деякими технічними характеристиками не поступаються сучасним серійним приладам, дозволяючи виконувати унікальні дослідження оптичних спектрів поглинання, відбиття та розсіювання мікроскопічних кристалів. Робота по створенню необхідного обладнання для виконання нових наукових задач не припиняється і понині.

У 1994 р. М. М. Таран захищає докторську дисертацію, присвячену вивченню залежності оптичних спектрів

іонів перехідних металів в мінералах від тиску й температури. Ці дослідження, що вимагають ювелірної точності під час виконання складних експериментів, стали можливими завдяки поєднанню ґрунтовної теоретичної підготовки та ерудиції вченого-мінералога з інтуїцією і талантом фізика-експериментатора. Результати цієї роботи мають важливе значення щодо поглиблення існуючих уявлень про процеси, що відбуваються в глибинних зонах Землі. Робота в цьому напрямку плідно продовжується і нині.

Сьогодні коло наукових інтересів Михайла Миколайовича охоплює спектроскопічні дослідження типоморфних особливостей породоутворювальних мінералів, які є наслідком багатьох важливих геологічних процесів. У співавторстві з О. М. Платоновим, В. М. Хоменком, С. С. Мацюком вчений працює над розробкою теоретичних питань взаємозв'язку між оптично активними центрами в мінералах і еволюцією мінеральної речовини.

Михайло Миколайович — автор біль-ше 150 наукових праць, серед яких три монографії. Він є авторитетним спеціалістом в галузі оптичної спектроскопії мінералів, знаним не лише в Україні, але й далеко за її межами. М. М. Таран стажувався в Інституті мінералогії та кристалографії Технічного університету Берліна (ФРГ), а також у Відділенні наук про Землю та планет Сонячної системи у Каліфорнійському технічному інституті (США), підтримує багаторічні наукові контакти з колегами із різних куточків світу, активно друкується в зарубіжних наукових журналах, постійно бере участь у міжнародних і вітчизняних наукових з'їздах, конференціях, нарадах.

Вся наукова, науково-організаційна і громадська діяльність ювіляра пов'язана з Інститутом геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, де він пройшов шлях від аспіранта до завідувача відділом оптичної спектроскопії і люмінесценції мінералів. М. М. Таран працював ученим секретарем Інституту, був головою ради молодих вчених і спеціалістів, головою профспілкового комітету Інституту, він є членом редколегії журналу "Записки Українського мінералогічного товариства". Протягом декількох років був членом експертної комісії при ВАК України.

Шостий десяток років Михайло Миколайович зустрічає у повному розквіті творчих сил, сповнений планів щодо подальшої наукової діяльності в області оптичної спектроскопії мінеральної речовини. Його колеги, співробітники, редколегія та редакція "Мінералогічного журналу" сердечно вітають Михайла Миколайовича Тарана з ювілеєм, зичать доброго здоров'я, нових здобутків у його ефективній науковій і суспільній діяльності.

Наші автори

Артеменко Геннадій Володимирович — д-р геол. наук, зав. від. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Бобров Олександр Борисович — д-р геол.-мінерал. наук, проф., заст. дир. УкрДГРІ М-ва охорони навколиш. природ. середовища України, Київ
Брик Олександр Борисович — д-р фіз.-мат. наук, проф., зав. від. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Возняк Дмитро Костянтинович — д-р геол. наук, зав. від. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Єсипчук Костянтин Юхимович — д-р геол.-мінерал. наук, пров. н. с. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, заст. дир. Держ. підприємство "Земля" при ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Жовинський Едуард Якович — д-р геол.-мінерал. наук, чл.-кор. НАН України, проф., зав. від. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Загнітко Василь Миколайович — д-р геол.-мінерал. наук, проф. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, Київ
Квасниця Віктор Миколайович — д-р геол.-мінерал. наук, зав. від. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Кривдік Степан Григорович — д-р геол.-мінерал. наук, зав. від. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Кураєва Ірина Володимирівна — д-р геол.-мінерал. наук, зав. від. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Курепін Віктор Олександрович — д-р геол.-мінерал. наук, пров. н. с. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Мельников Володимир Степанович — канд. геол.-мінерал. наук, пров. н. с. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Міцюк Борис Матвійович — канд. хім. наук, с. н. с. ІМаг НАН та МОН України, Київ
Павлишин Володимир Іванович — д-р геол.-мінерал. наук, проф. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка, Київ
Платонов Олексій Миколайович — д-р геол.-мінерал. наук, проф., пров. н. с. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Пономаренко Олександр Миколайович — д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, дир. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Самчук Анатолій Іванович — д-р хім. наук, гол. н. с. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Семененко Віра Пантелеївна — д-р геол.-мінерал. наук, зав. від. ІГНС НАН та МНС України, Київ
Степанюк Леонід Михайлович — д-р геол.-мінерал. наук, заст. дир. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Таращан Аркадій Миколайович — д-р геол.-мінерал. наук, пров. н. с. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Шумлянський Леонід Владиславович — канд. геол. наук, с. н. с. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ
Щербак Микола Петрович — д-р геол.-мінерал. наук, акад. НАН України, проф., радник при дирекції. ІГМР ім. М. П. Семененка НАН України, Київ

На першій стор. обкладинки:

Мінеральне розмаїття цеолітової товщі Сокирнянського родовища в Закарпатті. Збільшено в тисячу разів.

Фото Д. П. Дьоменка