

УДК [001:061.91:548.4:550.4:549]+001-057.4(477)

ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНА ШКОЛА ПРОФЕСОРА МИКОЛИ ЄРМАКОВА ТА ЇЇ ВНЕСОК У РОЗВИТОК ГЕНЕТИЧНОЇ МІНЕРАЛОГІЇ Й УЧЕННЯ ПРО РОДОВИЩА КОРИСНИХ КОПАЛИН

О. Матковський¹, І. Наумко², М. Павлунь¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна
E-mail: mineral@franko.lviv.ua

²Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,
вул. Наукова, 3а, 79060 м. Львів, Україна
E-mail: naumko@ukr.net

Стисло проаналізовано зародження й розвиток термобарогеохімічної школи професора Миколи Єрмакова, її внесок у генетичну мінералогію та вчення про родовища корисних копалин. Узагальнено матеріали зі становлення й розвитку вчення про мінералоутворювальні флюїди (термобарогеохімія, мінералофлюїдологія, fluid inclusions research). Це вчення започаткував М. Єрмаков на підставі результатів дослідження включень у мінералах наприкінці 1940–на початку 1950-х років. Завдяки підтримці майбутніх академіків В. Соболева та Є. Лазаренка проф. М. Єрмаков, його учні й колеги (Є. Вульчин, Ю. Долгов, В. Калюжний, Л. Колтун, В. Лесняк, Н. М'язь, А. Пізнюр, Р. Сухорський) у Львові заклали підґрунтя фактично нової галузі геологічних знань. Згодом наукові осередки з вивчення включень у мінералах з'явилися в різних регіонах колишнього СРСР (Київ, Москва, Ленінград (Санкт-Петербург), Новосибірськ, Улан-Уде, Владивосток, Ростов-на-Дону, Алма-Ата (Алмати) та ін.) і за кордоном. В Україні термобарогеохімічні дослідження провадили головню у Львівському університеті (Ю. Ляхов, І. Попівняк, М. Павлунь та ін.), Інституті геології і геохімії горючих копалин НАН України у Львові (В. Калюжний, О. Петриченко, В. Ковалевич, І. Наумко та ін.) й Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення імені акад. М. П. Семененка у Києві (Д. Возняк, Г. Кульчицька, В. Павлишин та ін.).

З'ясовано, що включення в мінералах – це унікальне джерело кількісної генетичної інформації про параметри тривалого і складного процесу мінералогенезу в різних геофлюїдодинамічних ситуаціях літосфери. За результатами комплексного прецизійного вивчення флюїдних включень у мінералах визначено геохімічні й термобаричні характеристики флюїдного середовища кристалізації мінералів та їхніх парагенетичних асоціацій у гірських породах і рудах магматичного, пегматитового, гідротермального й іншого генезису. Доведено (та в багатьох аспектах реалізовано) можливість прикладного використання термобарогеохімічних досліджень у практиці прогнозно-розшукових, геологорозвідувальних та експлуатаційних робіт.

Ключові слова: Микола Єрмаков, термобарогеохімічна школа, термобарогеохімія, включення в мінералах, флюїд, мінералоутворювальне середовище, історія науки, Львівський університет.

Усесвітньовідома термобарогеохімічна школа проф. Миколи Єрмакова зародилася на геологічному факультеті Львівського університету наприкінці 1940–на початку 1950-х років; її офіційно затверджено Міністерством освіти і науки України. Основи школи закладено за результатами дослідження включень у мінералах, що їх розпочато за керівництва й безпосередньої участі М. Єрмакова на кафедрі загальної геології, яку він очолював*. Миколі Порфировичу належить ініціатива назви нового напрямку геолого-мінералогічної науки – *термобарогеохімія* (ТБГХ), яку офіційно затверджено 1970 р. на Другій міжнародній нараді Комісії з рудоутворювальних флюїдів у включеннях (Токіо, Японія). Ця назва “виборола” першість у альтернативній назви *термодинамічна геохімія*. Зазначимо, що спочатку М. Єрмаков називав цю галузь знань *ученням про мінералоутворювальне середовище* (1957), пізніше її називали *мінералогічна термометрія і барометрія за включеннями в мінералах*, а В. Калюжний запропонував назву *мінералофлюїдологія* (1978–1982), яка, однак, офіційного статусу не отримала.

У зародженні ТБГХ-школи важливу роль відіграли такі події:

– створення М. Єрмаковим першої у світі спеціалізованої лабораторії для дослідження включень і залучення до проведення цих досліджень перших випускників геологічного факультету (рис. 1, 2);



Рис. 1. Перша у Радянському Союзі група дослідників включень (Львівський університет, 1951). Зліва направо сидять: М. Єрмаков, Н. М’язь, А. Пізнюк, стоять: В. Калюжний, Л. Колтун, Ю. Долгов, С. Лазько, В. Лесняк [17].

– конструювання нових приладів, удосконалення апаратури для нагрівання включень у повітряному середовищі (камера М. Єрмакова) і в контакті з металом (камера В. Калюжного), створення і застосування автоматичного термозвукореєстратора (Ю. Долгов), розроблення способів і приладдя для ультрамікроскопічних визначень складу й концентрації розчинів окремих включень (В. Калюжний);

*Протягом 1945–1952 рр. М. Єрмаков був і деканом геологічного факультету.

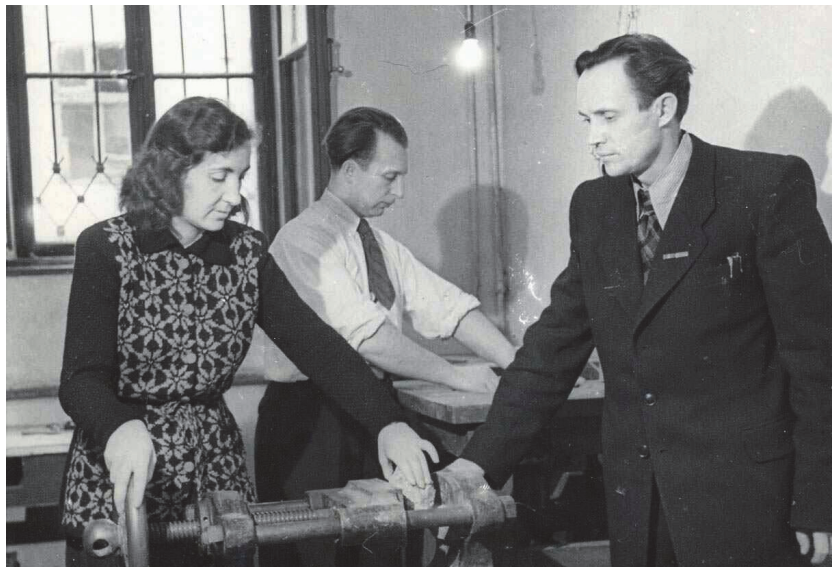


Рис. 2. Підготовка зрізів і пластинок для термобарогеохімічних досліджень, 1952.
Зліва направо: Н. М'язь, В. Калюжний, М. Єрмаков.

– підтримка цих досліджень професорами Є. Лазаренком (тоді декан геологічного факультету і завідувач кафедри мінералогії) та В. Соболевим (тоді завідувач кафедри петрографії);

– перші публікації М. Єрмаковим результатів власних досліджень та глибокий аналіз досліджень попередників. Ці матеріали викладено у праці “Критерии познания генезиса минералов и среда рудообразования” (1949), яка закріпила пріоритет досліджень ученого (такі дослідження М. Єрмаков розпочав ще у воєнні роки на памірських родовищах оптичного флюориту), а також у фундаментальній монографії “Исследования минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние)” (1950), за яку він був удостоєний Державної премії СРСР і яку високо оцінили провідні вітчизняні й зарубіжні вчені (рис. 3);

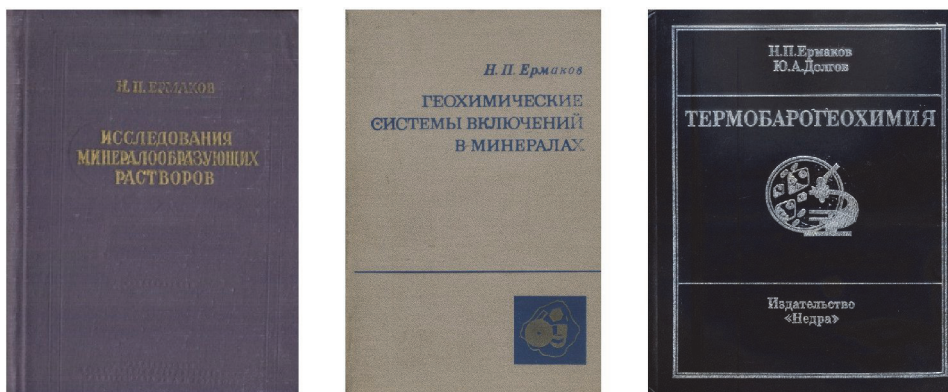


Рис. 3. Наукові праці Миколи Єрмакова.

– захисти дисертацій з ТБГХ-тематики: докторської М. Єрмакова “Исследования температуры и агрегатного состояния минералообразующих растворов” (1950) і кандидатських – В. Лесняка “Выявление генезиса некоторых месторождений Северного Кавказа с помощью термометрического анализа включений в минералах” (1952), Ю. Долгова “Опыт применения термозвукового анализа к исследованию геологических объектов” (1953), Є. Вульчина “Материалы к изучению минералообразующих систем” (1953), Л. Колтуна “Опыт генетического исследования некоторых эндогенных месторождений по включениям в минералах” (1953), Р. Сухорського “Температурный режим образования некоторых хрусталеносных месторождений Алдана” (1955), В. Калюжного “Многофазовые включения в минералах (методы изучения состава и отдельные вопросы применения)” (1955), Н. М’язь “Кристаллогенез и структура кварца хрусталеносных жил Казахстана” (1961), А. Пізнюра “Особенности генезиса хрусталеносных кварцевых жил Приполярного Урала и Алдана” (1962).

Результати зазначених досліджень дали науковцям змогу розробити теоретичні й методичні основи ТБГХ та обґрунтувати можливості застосування флюїдних включень для з’ясування термобаричних і геохімічних характеристик флюїдного середовища кристалізації мінералів та їхніх парагенезисів.

Що ж таке включення в мінералі?

За В. Калюжним, включенням можна назвати будь-яку з усіх боків ізольовану в процесі кристалізації ділянку в тілі мінералу, яка має з цим мінералом фазову межу [11]. Підґрунтям такого висновку є загальновідоме визначення М. Єрмакова [6]. Оскільки “в структурному плані включення у мінералі – це простір внутрішнього дефекту кристалічної ґратки (вакансії або сукупності вакансій), заповнений у процесі кристалізації мінералоутворювальною флюїдом або іншою речовиною” [11], то його трактують як анатомічну недосконалість (неоднорідність) кристалів (за В. Павлишиним, 1998).

Визначення терміна *флюїд* є в працях Г. Леммлейна [23], Ф. Сміта [44], В. Калюжного [11], М. Єрмакова, Ю. Долгова [8], Е. Рьоддера [43, 55] та інших науковців. За допомогою цього терміна характеризують основну властивість речовини мінералоутворювального середовища – її найвищу мобільність, максимальну неупорядкованість структури, здатність текти. Це стосується і рідкого або газового стану легколетких компонентів (газовий, водний розчин), і магматичного (силікатного, сольового, карбонатного) розплаву.

Учення про мінералоутворювальні флюїди лише зароджувалося, а вже 1949 р. В. Соболев зазначив таке: “Ключ к окончательному доказательству этих выводов ... лежит, с одной стороны, в изучении критических явлений природных растворов, остатки которых мы имеем в пузырьках, заключённых в минералах, а с другой стороны, связан с разработкой абсолютной температурной градуировки процессов минералообразования, важнейшим методом которой является изучение тех же пузырьков, что детально разобрано в работах Г. Г. Леммлейна и Н. П. Ермакова” [45]. Активно підтримав нову науку і Є. Лазаренко, який зазначив, що саме “при изучении различных закономерностей возникновения, развития и разрушения как отдельных минералов, так и минеральных месторождений важное значение приобретает исследование минералообразующей среды. ... Значительным вкладом в этом отношении являются работы Н. П. Ермакова, намечающие пути к установлению объективных критериев познания процессов минералообразования” [18]. Про це йдеться і в рецензії Є. Лазаренка та Є. Лазька “О книге

Н. П. Ермакова “Исследования минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние)” [20].

Ще до 1950 р. М. Єрмаков класифікував включення мінералоутворювального середовища за складом і агрегатним станом заповнення вакуоль, а також за відносним часом і способом консервації в них розчинів і розплавів. Окрім обґрунтування раніше не відомих типів і видів гомогенізації включень, важливим було виділення нового класу вірогідно найпоширеніших первинно-вторинних включень, які “самоконсервувалися” в субсингенетичних тріщинах мінералів. Такі включення спочатку трактували як епігенетичні й тому непридатні для генетичних висновків, однак виявилось, що саме вони є найбільш представницьким мікрооб’єктом ТБГХ-досліджень у багатостадійних рудних родовищах різних генетичних класів і з’ясування їхньої природи має прикладне значення. Крім того, Миколі Порфіровичу разом із послідовниками вдалося подолати сумніви щодо високих, надкритичних значень температури гомогенізації ($T_{\text{гом}}$) включень у гідротермальних мінералах (вище 374 °С) і довести їхню відмінність у різних зонах росту кристалів.

У 1952 р. М. Єрмаков переїхав до Москви, де працював на геологічному факультеті Московського державного університету (МДУ) професором кафедри мінералогії, а згодом – кафедри геології і геохімії корисних копалин (очолював кафедру акад. В. Смирнов). Микола Порфірович брав активну участь у створенні унікального музею МДУ – Музею землезнавства, директором якого був багато років. Саме під керівництвом М. Єрмакова створено перший варіант експозиції. Водночас учений продовжував працювати над проблемами термобарогеохімії. З його ініціативи ТБГХ-відділення, що виникли в різних наукових установах колишнього СРСР (Львів, Москва, Ленінград, Новосибірськ, Улан-Уде, Алма-Ата, Ростов-на-Дону), об’єднано в очолювану вченим національну секцію. Започатковано тісні міжнародні наукові зв’язки, зокрема, на 22-й сесії Міжнародного геологічного конгресу в Індії (1964) створено Комісію з вивчення включень у складі Міжнародної асоціації досліджень генезису рудних родовищ. Президентом цієї Комісії до 1974 р. був М. Єрмаков, а віце-президентом – відомий американський геолог-термобарогеохімік Е. Рьоддер. У московський період опубліковано капітальні монографічні узагальнення світового значення з теоретичних, методологічних, генетичних, дидактичних і прикладних питань різноманітних досліджень флюїдних включень у мінералах: “Research on the Nature of Mineral-Forming Solutions” [56], “Геохимические системы включений в минералах” [7] і “Термобарогеохимия” (у співавторстві з Ю. Долговим) [8] (див. рис. 3).

З 1963 р. під егідою М. Єрмакова почали проводити регулярні (спочатку через два, а пізніше – через чотири роки) Всесоюзні та регіональні (республіканські) наради з різних аспектів уже змістовно структурованої ТБГХ (теоретичної, методологічної, аналітичної, генетичної, прикладної) та генетико-геохімічних і петрологічних проблем магматизму, метаморфізму, теорії рудогенезу, седиментології й діагенезу тощо (рис. 4), друкували збірники матеріалів і тез доповідей, складали щорічні бібліографічні покажчики вітчизняної й іноземної літератури, запровадили розділ “Включення” в універсальній десятиковій класифікації (УДК), захищали докторські й кандидатські дисертації, друкували монографії і статті та ін.

Отже, 1960–1970-ті роки знаменувалися становленням термобарогеохімії як галузі знань на стику геохімії й мінералогії [8]. У цьому контексті в передмові до збірника тез доповідей Четвертої регіональної наради з термобарогеохімії процесів мінералоутворення (Ростов-на-Дону, 1973) відповідальний редактор М. Єрмаков зазначив таке:

“Интенсивное развитие стыковых направлений естественных наук, стремление проникнуть в сокровенные механизмы геологических процессов, подойти с “мерой и числом” к характеристике условий формирования эндогенных месторождений обусловили появление новой ветви наук о Земле – **термобарической геохимии**, специфическими объектами изучения которой являются “законсервированные” в минералах частички глубинных рудообразующих флюидов, разнообразные газовые, жидкие или расплавные включения. За последние пять лет, прошедшие со времени III Всесоюзного совещания по минералогической термобарометрии и геохимии глубинных минералообразующих растворов, многими научными коллективами и отдельными исследователями получены новые интересные данные в области изучения включений растворов и расплавов в минералах. Резко возрос интерес геологов в отношении прикладного использования результатов термобарогеохимических исследований в практике поисковых и разведочных наук” [47, с. 3].



Рис. 4. Проф. М. Єрмаков (у центрі) серед львів'ян – делегатів Шостої всесоюзної наради з термобарогеохімії (Владивосток, 1978). Ліворуч: Л. Колтун, А. Пізнюр, Н. М'язь, праворуч – Ю. Дорошенко, І. Попівняк.

У 1975 р. у Львові відбулася республіканська нарада “Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования (по данным изучения флюидных включений в минералах)”, матеріали якої опубліковано у вигляді тез доповідей [50] та окремим виданням “Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования (по данным изучения флюидных включений в минералах)” [51]. Через десять років у Львові провели чергову Сьому всесоюзну нараду “Термобарометрия и геохимия рудообразующих флюидов (по включениям в минералах)” (рис. 5). Її матеріали теж опубліковано у вигляді тез доповідей (у двох частинах) [49] та у двох збірниках наукових праць: “Минералообразующие флюиды и рудогенез : материалы VII Всесоюзного совещания по термобарометрии и геохимии рудообразующих флюидов” [30] і “Геохимия и термобарометрия эндогенных флюидов” [4].



Рис. 5. Учасники Сьомої всеозоної наради з термобарометрії і геохімії рудоутворювальних флюїдів (за включеннями в мінералах), Інститут геології і геохімії горючих копалин АН УРСР, м. Львів, 30 вересня–02 жовтня 1985 р. У першому ряді сидять (зліва направо): четвертий – Л. Хетчиков, п'ятий – В. Каложиный, шоста – Н. Петровська, сьомий – М. Єрмаков, восьма – Н. М'язь, дев'ятий – Ю. Долгов.

Термобарогеохімічні дослідження в Україні активно провадили не тільки у Львівському університеті, де зародилася ТБГХ, а й у наукових установах Академії наук, головню, в Інституті геології корисних копалин АН УРСР (нині Інститут геології і геохімії горючих копалин (ІГГК) НАН України) у Львові та Інституті геохімії і фізики мінералів АН УРСР (нині Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) імені М. П. Семененка НАН України) у Києві. У цих інститутах сформувалися надзвичайно продуктивні центри ТБГХ-досліджень.

Стислий аналіз дослідження включень у мінералах в Україні у другій половині ХХ ст. і на межі тисячоліть навів Д. Возняк у статті “Розвиток в Україні вивчення флюїдних включень в мінералах” [1]. У ній висвітлено історію виникнення науково-дослідних центрів і осередків з дослідження включень у мінералах, проаналізовано методи досліджень, описано використовувану апаратуру, наведено стислу інформацію про публікації й авторів понад 50 захищених дисертацій, про підготовку відповідних фахівців та головні геологічні об’єкти вивчення. Розвиткові ТБГХ-досліджень присвячено три статті, що їх опубліковано до 100-літнього ювілею М. Єрмакова: Ляхов Ю., Матковський О., Павлунь М., Сіворонов А. “Професор Микола Порфирівич Єрмаков – теоретик і засновник нової галузі геологічних знань – термобарогеохімії (до 100-річчя від дня народження)” [41] і “Професор Николай Порфирьевич Ермаков – теоретик и основатель нового направления геологической науки – термобарогеохимии (к 100-летию со дня рождения)” [42]; Кульчицька Г., Возняк Д., Черниш Д. “Феномен успіху термобарогеохімії Миколи Єрмакова (до 100-річчя від дня народження)” [17].

Досить ґрунтовний аналіз ТБГХ-досліджень, пов’язаних з проблемами нафтогазонасності Карпатського регіону, наведено у спеціальному розділі фундаментальної колективної монографії “Карпатська нафтогазонасна провінція” – “Флюїдний режим катагенно-гідротермального процесу періоду формування жильної, прожилкової і прожилково-вкрапленої мінералізації в осадових товщах” (автори І. Наушко, М. Братусь, І. Дудок та ін.) [53]. Стислі відомості про ТБГХ-дослідження і школу М. Єрмакова містять також публікації [12, 22, 25, 31, 34, 41, 42, 52 та ін.].

Термобарогеохімічні роботи у Львівському університеті з 60–70-х років ХХ ст. (і до нині) мали головню прикладне спрямування: вони стосувались ендегенного рудоутворення на родовищах кольорових, рідкісних і благородних металів різних генетичних і формаційних типів. Дослідження провадили на кафедрі розшуків і розвідки родовищ корисних копалин (нині кафедра геології корисних копалин), у Забайкальській експедиції, Проблемній науково-дослідній лабораторії геохімії і глибинних тектонічних процесів, лабораторії прикладної термобарогеохімії (єдиної в колишньому СРСР), а протягом останнього десятиліття ХХ ст. – в Інституті геології і металогенії золота, кольорових металів і алмазів України. Роботи очолювали професори Є. Лазько (1964–1991), А. Пізнюр (1991–1996), пізніше – М. Павлунь. У Проблемній лабораторії сконструювали охолоджувальну камеру для виявлення у включеннях рідкого CO₂, удосконалили установку для термозвукового аналізу, розробили методику аналізу хімічного складу водних витяжок з флюїдних включень у мінералах (Мязь, Симків, 1975). Удосконалено методику валового мас-спектрометричного аналізу газового складу флюїдних включень у мінералах і з’ясовано чинники, які впливають на результати аналізу, зокрема, запропоновано технологічні кроки з усунення негативного впливу здебільшого генетичних властивостей і розміру включень на якість діагностики (Павлунь, Костенко, Костин, 1986).

Неординарними стали методичні підходи львівської школи ТБГХ і до деяких інших питань визначення фізико-хімічних параметрів процесу мінерало- чи рудоутворення за

включеннями в мінералах. Зокрема, однією з наріжних проблем було визначення тиску за сингенетичними включеннями CO_2 і H_2O та поправок до температури за значеннями тиску, еквівалентними глибині утворення мінеральних парагенезисів (родовищ). На підставі теоретичних уявлень Є. Лазька про генетичні й фазові особливості поширення відповідних пар сингенетичних включень (згідно з бінарною системою $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$) за різних термобаричних умов, визначивши густину CO_2 за температурою часткової гомогенізації включень CO_2 і дійсною температурою мінералоутворення за включеннями водного розчину, В. Калюжний та Л. Колтун 1953 р. практично визначили тиск мінералоутворення під час формування кварцу з поліметалевих родовищ Нагольного Кряжа в Донбасі, що згодом стало загальною і звичною процедурою. У середині 1960-х років важливе наукове значення мали дві проблемні публікації: Лазаренко Е. К., Лазько Е. М., Пизнюр А. В. “О пневматолитовых процессах, минералах и месторождениях” (1965); Ляхов Ю. В., Лазько Е. М., Пизнюр А. В. “О двойной роли газовой фазы постмагматических растворов в эндогенном минералообразовании” (1965). У цих працях доведено наявність глибинного пневматолізу під час формування мінералів та виявлено подвійну роль газової фази післямагматичних розчинів в ендегенному мінералоутворенні.

У статті Ю. Ляхова “Погрешности при определении давления минералообразования по газовой-жидким включениям с галитом, их причины и пути устранения” (1973) з фізико-хімічного погляду доведено таке: що більша концентрація солей у розчинах включень, то крутіший нахил матимуть ізохори на *PTC*-діаграмі водно-сольових розчинів, а це означає, що навіть за дуже високої температури й концентрації тиск буде нижчий, ніж це уявляли раніше. Учений схарактеризував науково-прикладні й методичні можливості використання так званих ореолів пропарювання, які можна картувати під час декрепітаційних знімачів, профілювання і каротажу свердловин. У праці “Морфометрия каёмочных ореолов гидротермального формирования по данным декрепитации” (1979) Ю. Ляхов на підставі статистично найважливіших особливостей будови цих ореолів, їхніх параметричних характеристик (розмір, форма, інтенсивність) та інтерпретаційних висновків залежно від їхнього просторового розташування (підрудні чи надрудні, кут щодо свердловини та ін.) сформулював загальні “дороговкази” для реалізації декрепітаційних розшуково-оцінних робіт на різних родовищах. У 1976 р. вийшла праця А. Сіворонова та А. Росихіної, у якій наведено результати визначення *PT*-параметрів за включеннями в мінералах нижньоархейських глибокометаморфізованих утворень Українського щита (УЩ).

У концептуальній статті Є. Лазька “О термобарогеохимической зональности” (1981) узагальнено дані про просторово-часові палеотемпературні градієнти процесів рудоутворення, співвідношення комплексів окиснювальних і відновлювальних газів, головних катіонів-аніонів, густини флюїдів тощо, розкрито зміст ТБГХ-зональності й обґрунтовано просторове розташування зон, які фізико-хімічно сприятливі для формування зруденіння відповідного геолого-генетичного й формаційного типу з урахуванням структурно-фаціальних умов рудолокалізації. Цю тематику розвинуто в низці пізніших публікацій: Лазько Е. М., Ляхов Ю. В., Пизнюр А. В., Павлунь Н. Н. “Термобарогеохимическое моделирование рудных формаций и практика поисково-оценочных работ” (1990); Лазько Е. М., Ляхов Ю. В., Пизнюр А. В., Павлунь М. М., Попівняк І. В. “Термобарогеохимия у сучасній геології (пошуки, розвідка та експлуатація родовищ)” (1994).

Наведемо також інші вагомні теоретично-прикладні здобутки представників львівської термобарогеохімічної школи. Зокрема, на підставі великого масиву фактичних матеріалів з вивчення родовищ W, Mo, Sn, Cu-Mo, Au, Au-Ag, Pb, Zn, Sb, Hg, флюориту,

п'єзооптичного кварцу різних післямагматичних формацій прецизійно визначено й модельно реконструйовано флюїдний режим ендегенних рудоутворювальних процесів та фізико-хімічні чинники рудоконцентрації. Виявлено ТБГХ-ознаки глибинності перебігу таких процесів щодо синрудної палеоповерхні, особливо для золоторудних формацій, головні риси й чинники ТБГХ-зональності рудних полів, визначено фізико-хімічні передумови й ТБГХ-ознаки прогнозування, розшуків і оцінки зруденіння.

Розкрито принципи, логіку, методологію, технологію генетичного, структурного (просторового), дослідно-методичного і спеціалізованого (для ТБГХ-досліджень) відбирання проб із рудних тіл та інших геологічних об'єктів як первинної ланки досліджень за польових умов.

Виконано просторово-часове ТБГХ-моделювання рудоутворювальних процесів як основи локального прогнозування: побудовано розмаїті комплексні фізико-хімічні моделі з вирішенням і описом їхніх складових (термометричних, барометричних, агрегатно-густинних (фазово-гомогенізаційних), іонно-метричних, гідро- і газохімічних, концентраційно-сольових, декрепітаційних) для родовищ різного геолого-генетичного типу та розкрито зміст їхньої геолого-генетичної і прикладної інтерпретації й використання.

З'ясовано фізико-хімічні рудоконтролювальні чинники та виявлено і сформульовано головні й другорядні ТБГХ-критерії та ознаки зруденіння, розкрито алгоритми їхнього застосування з позицій багатоетапного (логічного збільшення масштабу) розвитку геологорозвідувального процесу включно з експлуатаційними (видобувними) роботами, коли є потреба в оцінці вірогідної просторової поведінки концентраційних і структурно-морфологічних рудних стовпів типу бананців.

Результати цих досліджень висвітлено в численних наукових звітах, низці кандидатських дисертацій різних років (Ю. Ляхов, 1967; Ю. Дорошенко, 1971; С. Івасів, 1974; І. Попівняк, 1976; М. Павлунь, 1981; М. Головченко, 1982; Ж. Сімків, 1982; Т. Павлюк, 2004; С. Ціхонь, 2004; С. Криль, 2015) та докторських дисертаціях А. Пізнюра "Термобарогеохимические условия формирования молибденовых месторождений" (1982), Ю. Ляхова "Условия образования и зональность золоторудных месторождений (по данным термобарогеохимии)" (1985), І. Попівняка "Фізико-хімічне моделювання флюїдно-динамічних рудогенеруючих палеосистем та прогнозування пов'язаного з ним зруденіння (на прикладі родовищ золота)" (2002) та М. Павлуна "Фізико-хімічні умови і зональність розвитку молибден-вольфрамових і золоторудних формацій (за результатами термобарогеохімічних досліджень)" (2003). Опубліковано багато наукових статей, а також низку монографічних зведень, першими серед яких були праці Є. Лазька "Хрусталеносные кварцевые жилы и их генезис (на примере Алданских месторождений горного хрусталя)" (1957) (рис. 6) та В. Лесняка "Основы анализа физико-химических свойств минералообразующих растворов по включениям в минералах" [24].

У 1972 р. з'явилися абсолютно новітні "Методические указания по анализу рудообразующих растворов и их применению для прогнозной оценки рудоносных площадей и в практике поисково-разведочных и эксплуатационных работ" (для службового використання), які склали Є. Лазько та Ю. Ляхов на замовлення Міністерства кольорових металів колишнього СРСР. Ці методичні вказівки фактично стали першою в світі спробою широкого впровадження ефективних, експресних і порівняно дешевих методів ТБГХ-досліджень для прогнозування, розшуків і оцінки рудних покладів, у тім числі на стадії експлуатації родовищ, тому їх активно поширювали на геологорозвідувальних і гірничих підприємствах.



Рис. 6. Наукові та навчально-методичні праці з термобарогеохімії вчених кафедри геології корисних копалин Львівського університету.

Згодом, у 1981 р., опубліковано монографію С. Лазька, Ю. Ляхова і А. Пізнюра “Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения (по термобарогеохимическим данным)” [21], у якій використано багатий фактичний матеріал М. Головченка, Ю. Дорошенка, С. Івасіва, Н. М’язь, М. Павлуна, К. Поздеева, І. Попівняка, Ж. Сімків та інших львівських дослідників (див. рис. 6). У книзі схарактеризовано теоретичні питання фізико-хімічних умов формування і ТБГХ-зональності зруденіння родовищ різних рудних формацій, а третю її частину присвячено вирішенню прикладних завдань за даними термобарогеохімії. Ця праця вкотре переконливо засвідчила абсолютний ідейний і науковий пріоритет львівської наукової школи ТБГХ та її найважливішого напрямку – прикладної термобарогеохімії. У 1995 р. вийшла монографія “Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски и оценка оруденения)” (автори Ю. Ляхов, М. Павлунь, А. Пізнюр, І. Попівняк) (див. рис. 6), яка стала ще однією спробою науковців Львівського університету впровадити в теорію рудогенезу і практику геологорозвідувальних робіт методику ТБГХ-досліджень золоторудних формацій, хоча наведені в ній теоретико-методологічні і прикладні матеріали мають загальне значення [48]. Зазначимо, що написання цієї праці на замовлення керівників Міністерства геології колишнього СРСР і Центрального науково-дослідного геологорозвідувального інституту А. Кривцова і В. Нарсеева засвідчило повне визнання московською науковою галузеву елітою львівської термобарогеохімічної школи професора М. Єрмакова.

На межі XX і XXI ст. на кафедрі геології корисних копалин продовжували активно вивчати флюїдні включення в мінералах головно золоторудних родовищ і рудопроявів

України (Юріївське, Майське, Балка Золота й інші на УЩ, Сауляк, Білий Потік та інші в Українських Карпатах). Результати ТБГХ-досліджень петрогенезису нижньоархейського чарнокіт-гранулітового комплексу та пов'язаного з ним Майського золоторудного родовища висвітлено у статті І. Бакуменка, О. Боброва, М. Павлуна та А. Сіворонова "Флюїдний режим процесів петрорудогенезу та термобарогеохімічні критерії золоторудних зон Майського родовища" та невеликій монографічній праці "Майське золоторудне родовище (геологія, речовинний склад, модель утворення)" (Бобров, Сіворонов, Скакун та ін., 2000). Визначено фізико-хімічні умови формування та оцінено перспективи золотого зруденіння Липнязького рудного вузла на Кіровоградщині (Павлюк, Попівняк, Ніколенко, 2001). На підставі реконструкції термобарогеохімічних ознак і параметрів флюїдного режиму мінералоутворення схарактеризовано особливості фізико-хімічних процесів формування золоторудних родовищ УЩ, визначено їхню метаморфогенно-гідротермальну природу, свідченням чого є найбільш високobarичні (до гіпербаричних) значення тиску мінералоутворення (300–350 МПа), субізохоричний тренд перебігу процесів на генотипних об'єктах, високий ступінь термостатування (від 3–5 до 8–10 °С/м), значна густина CO₂ у флюїдах (до 1,02 г/см³), край повільний (стиснений) процес часткової гомогенізації (гетерогенізації) включень тощо. Наведено схеми стадійності і ТБГХ-режиму формування золоторудних родовищ Балка Широка і Майське (Павлунь, 2015).

У Рахівському рудному районі Українських Карпат за результатами ТБГХ-досліджень визначено фізико-хімічні умови та стадійність мінералоутворення під час формування родовища золота Сауляк (праці І. Попівняка, С. Ціхоня, Т. Олійника та ін., 2004–2006). Зокрема, виділено п'ять стадій мінералоутворення: піротин-кварцову (475–385 °С), турмалін-кварцову (465–389), пірит-кварцову (410–230), золото-полісульфідну (335–110, 145–105 °С; 80–90 МПа) і кварц-карбонатну (150–80 °С). Доведено тристадійність процесу мінералоутворення на золотопрояві Білий Потік (Ціхонь, 2014). Досліджено флюїдні включення в жильному кварці метаморфічних порід Чивчинських гір, визначено сингенетичність однофазових включень скраплених вуглеводнів (метану й етану) та включень водних розчинів, оцінено максимальні значення тиску (140–430 МПа) і температури (190–550 °С) у момент їхньої ізоляції (Бакуменко, Марусяк, 2006).

Діагностовано генетичні типи флюїдних включень, хімічний склад, агрегатний стан і фазові співвідношення у включеннях мінералоутворювального середовища, визначено мінімальну температуру й фізико-хімічні особливості процесів мінералоутворення на неотектонічному етапі розвитку південно-східної частини Українських Карпат. Доведено, що на цьому етапі для низькотемпературних мінералоутворювальних розчинів характерне значне збагачення CO₂ і поява Fe, Mn, As, S, Sr та інших компонентів порівняно з мінералоутворювальними розчинами складчасто-насувного етапу. Ці дані висвітлено в окремих публікаціях І. Попівняка, С. Ціхоня та інших науковців (2008–2015), а також у кандидатській дисертації С. Кріль (2015). Дуже цікаві результати ТБГХ-досліджень золоторудних родовищ у чорносланцевих породах, які раніше методами ТБГХ майже не вивчали, навів В. Схіванов (1990, 2007).

Активні термобарогеохімічні дослідження провадили й на кафедрі мінералогії Львівського університету. Уже в першій монографічній праці регіонально-мінералогічного спрямування М. Сливка "Исследование турмалинов некоторых месторождений СССР" (1955) наведено ґрунтовні дані ТБГХ-досліджень за результатами вивчення включень у кварці й турмаліні з гранітних пегматитів (рис. 7).



Рис. 7. Праці науковців Львівського університету, у яких важливе місце посідають результати ТБГХ-досліджень.

Перші результати дослідження включень у кварці типу мармароських “діамантів” та кальциті, що з ним асоціює, з флішових відкладів Українських Карпат опубліковано в матеріалах першого засідання Комісії мінералогії і геохімії Карпато-Балканської геологічної асоціації (Матковський, 1961). Визначено гідротермальне походження цих мінералів, а не холодноводне, як уважали раніше ($T_{\text{гом}}$ включень у кварці – 155–185 °С, у кальциті – 200–230 °С). Значення $T_{\text{гом}}$ включень у низці мінералів (різновиди кварцу, барит, кальцит, сфалерит, реальгар, метацинабарит) наведено у фундаментальній монографії “Мінералогія Закарпаття” (Лазаренко, Лазаренко, Барышников, Малыгина, 1963).

Результати ТБГХ-досліджень є також у монографічних працях “Основы генетической минералогии” (Лазаренко, 1963), “Мінералогія Поділля” (Лазаренко, Сребродольський, 1969), “Минералогия и петрография Чивчинских гор (Украинские Карпаты)” (Матковський, 1971) (див. рис. 7), а також у п’яти виданнях підручника Є. Лазаренка “Курс мінералогії” (три російською мовою (1951, 1963, 1971) і два українською (1958–1961, 1970)). Піонерськими були дослідження А. Ясинської, яка вперше запропонувала генетичну класифікацію включень у мінералах метеоритів і порід Місяця, описала органічну речовину в космічних тілах Сонячної системи.

Наступні ТБГХ-роботи провадили в комплексі з онтогенічними, ізотопно-геохімічними та іншими дослідженнями під час вивчення метаморфічного мінералоутворення в Мармароському масиві Карпат і гідротермально-метасоматичного мінералоутворення в процесі формування золото-поліметалевого зруденіння Українських Карпат і УЩ. Результати висвітлено у докторській дисертації О. Матковського “Минералогия и условия образования древних эндогенных комплексов Мармарошского массива (Восточные Карпаты)” (1975), у другій частині монографії “Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат” (Габинет, Кульчицкий, Матковский, Ясинская, 1977) (див. рис. 7), у кандидатських дисертаціях В. Степанова (1993), Л. Скакуна (1994), О. Ємця (2000), І. Мудровської (2000), Н. Словотенко (2007) та численних наукових статтях.

За даними вивчення включень та інших досліджень схарактеризовано термобарогеохімію метаморфічного й післяметаморфічного мінералоутворення в кристалічному фундаменті Східних Карпат, за $T_{\text{гом}}$ включень у кварці і гранаті та різними мінералогічними термометрами визначено температуру зеленсланцевої й епідот-амфіболітової фацій метаморфізму (О. Матковський), з’ясовано термодинамічні й фаціальні умови формування метаморфічних комплексів і пов’язаного з ними стратиформного золотого, колчеданового, колчеданово-поліметалевого, жильного поліметалевого та манганового зруденіння (О. Матковський, В. Степанов, А. Ясинська), створено мінералого-генетичні моделі формування золото-поліметалевого і срібного зруденіння та флюорит-кварц-баритової і кварц-барит-алунітової жильної мінералізації Берегівського рудного поля Закарпаття (Б. Ремешило, Л. Скакун, О. Ємець, Н. Словотенко) і золотого зруденіння Саврансько-Синицівської площі УЩ (І. Мудровська). Важливими є результати катодолюмінесцентного імідж-аналізу як нового методу онтогенічних досліджень, що дає змогу розкрити анатомію мінеральних індивідів і з’ясувати походження флюїдних включень, характер росту й діагностику подій, розчинення і регенерації тощо (Л. Скакун, Н. Словотенко, Р. Серкіз). За даними термобарогеохімічних та ізотопно-геохімічних досліджень Л. Скакун розробив модель формування золотого і срібного зруденіння Берегівського рудного поля, згідно з якою мінералоутворення контролюване тут процесами взаємодії ювенільного гідротермального флюїду з метеорною водою та формційним флюїдом [3].

Одержано нові оригінальні дані щодо термометрії розплавних включень у кварці з алунітизованих туфів Берегівського рудного району (Бакуменко, Медвідь, Словотенко, 2011). Під час кріометричних досліджень визначено досить низьку температуру солідусу (близько 640 °С) і $T_{\text{гом}}$ герметизованих розплавних включень (825–860 °С), що, на думку авторів, зумовлено втратою високотемпературними включеннями герметичності, а отже, – флюїдної складової. І саме через неврахування цього факту попередники отримали суттєво завищені значення $T_{\text{гом}}$ включень розплаву в процесі нагрівання (940–1 350 °С).

Виконано перші дослідження первинних розплавних включень у плагіоклазі з афанітових базальтів ратинської світи нижньовендської міденосної трапової формації Західної Волині (Бакуменко, Федоришин, 2005); температура гомогенізації цих включень становить 1 110–1 200 °С.

Важливим підсумком роботи дослідників ЛНУ імені Івана Франка у ХХІ ст. є видання фундаментальних колективних зведень, зокрема, “Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України” (Бобров, Сіворонов, Ляхов та ін., 2014) і третьої–п’ятої книг серії “Мінерали Українських Карпат”: “Борати, фосфати, арсенати, молібдати, сульфати, карбонати, органічні мінерали і мінералоїди (Матковський, Білоніжка, Бойко та ін., 2003); “Силікати” (Матковський, Квасниця, Наумко та ін., 2011); “Процеси мінералоутворення” (Матковський, Білоніжка, Возняк та ін., 2014) (див. рис. 7).

У монографії “Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України” [3] на підставі матеріалів геолого-мінералогічних і ТБГХ-досліджень уперше вирізняють шість генетичних типів родовищ золота УЩ і його фанерозойського облямування, які належать до плутоногенно-, вулканогенно- та метаморфогенно-гідротермальних утворень. Аргументовано доведено, що за ступенем термостатування палеогідросистем золото-концентрації (його відображенням є значення $\Delta T/100$ м) і змінного *PT*-режиму в часі* вивчені родовища золота цілком коректно можна зіставити з трьома різноглибинними золоторудними формаціями за Н. Петровською. Однак генетична і формаційна позиція досліджених родовищ значно чіткіша, оскільки ґрунтується на інструментально-кількісній оцінці фізико-хімічних умов за флюїдними включеннями в мінералах. Звідси випливає таке: уже на ранніх етапах прогностичної оцінки перспективних золотоносних (чи металогенічно інших) територій за конкретними ТБГХ-параметрами рудоутворювального процесу можна впевнено дешифрувати різноглибинно-формаційний тип золотого зруденіння, визначити його вертикальний розмах і вірогідні масштаби акумуляції золота чи інших металів, рівень еродованості і ступінь збереженості в сучасному денудаційному зрізі, тобто обґрунтовано вирішувати вкрай важливу геолого-економічну проблему, яка є науковим підґрунтям для вибору раціональної методики проведення геологорозвідувальних робіт з підрахунку запасів сировини та їхньої економічної оцінки.

У п’ятій книзі з циклу “Мінерали Українських Карпат” – “Процеси мінералоутворення” [27] уперше узагальнено матеріали з відтворення надзвичайно складного й багатогранного процесу мінералоутворення в Карпатському регіоні. Проаналізовано наявні дані авторів та їхніх попередників стосовно магматичного, гідротермально-метасоматичного, осадового, метаморфогенного, гіпергенного, космогенного та сучасного мінералоутворення. Різноманітні дані ТБГХ-досліджень (агрегатний стан включень, значення температури гомогенізації й декрепітації, хімічний та ізотопний склад) найширше залучено до аналізу процесів магматичного, гідротермально-метасоматичного та осадового мінералоутворення. Саме ці результати стали підґрунтям для розробки мінералогічних моделей формування родовищ різних корисних копалин (золото, поліметали, ртуть, барит, цеоліти, солі та ін.) і з’ясування деяких загальних особливостей цих процесів.

Ще в часи зародження наукової школи ТБГХ Микола Єрмаков почав читати курс “Геотермометрія” для студентів геологічного факультету (1950–1952), а вже згадувана

*Особливо за співвідношенням $\Delta T/\Delta P$ та оцінкою динаміки просторово-часових флуктуацій інтенсивних фізико-хімічних параметрів, фазово-компонентного складу і агрегатного стану рудоносних флюїдів.

його книга “Исследования минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние)” [6] стала не лише дороговказом для послідовників у всьому світі, а й першим підручником. І до нині цей курс читають під назвою “Термобарогеохімія” (інколи з доповненням теоретична, прикладна). У різні роки цю дисципліну викладали А. Пізнюр, Ю. Ляхов, М. Павлунь, І. Попівняк, І. Бакуменко, нині – С. Ціхонь та Н. Словотенко. Професор А. Пізнюр опублікував три конспекти лекцій з загальною назвою “Основы термобарогеохимии”: “Методы термометрии” (1973), “Методы барометрии” (1973), “Исследование состава и концентрации растворов” (1975), посібник “Использование результатов исследований включений в теории рудообразования, практике поисков и разведки месторождений” (1976) та підручник “Основы термобарогеохимии” [39] (див. рис. 6). Навчальний посібник “Курс термобарогеохимии: теоретичні засади і методологія вивчення флюїдних включень у мінералах” (2004) написали Ю. Ляхов та М. Павлунь, а І. Попівняк та С. Ціхонь опублікували курси лекцій “Прикладна термобарогеохімія. Основи термобарогеохімічного пробовідбирання” та “Методи визначення тиску за газовими включеннями”. Низку науково-методичних розробок, пов’язаних з вивченням включень у мінералах (визначення тиску, ерозійного зрізу та вертикального розмаху зруденіння, розшуково-оцінних критеріїв), запропонували Ю. Ляхов, М. Павлунь та А. Пізнюр (“Методи вивчення родовищ і прикладна термобарогеохімія” та ін.). Численні дані термобарогеохімічних досліджень наведено в сучасних підручниках “Генезис мінералів” (Павлишин, Матковський, Довгий, 2003, 2007), “Основы минералогии Украины” (Матковський, Павлишин, Сливко, 2009), “Геология корисних копалин. Ч. 1. Рудогенез” (Ляхов, Павлунь, Ціхонь, 2012).

Не менше вражають результати ТБГХ-досліджень, що їх виконано в академічних інститутах України. Тут фактично склалися вже свої наукові школи, проте, звичайно, вони є продовженням університетської ТБГХ-школи М. Єрмакова, адже більшість академічних науковців-термобарогеохіміків – це випускники геологічного факультету Львівського університету. Вони поглиблюють і розвивають ТБГХ-напрямок геолого-мінералогічної науки в частині генетичної мінералогії, рудоутворення та прогнозно-металогенічного оцінювання родовищ корисних копалин і перспективних територій.

В ІГГК НАН України термобарогеохімічні дослідження започаткував В. Калюжний за підтримки Є. Лазаренка і В. Соболева, які свого часу очолювали в Інституті відділ мінералогії і петрографії (за сумісництвом). У 1955 р. В. Калюжний перейшов працювати з університету в цей Інститут, де протягом 1961–1988 рр. очолював відділ геохімії глибинних флюїдів (сучасна назва – з 1967 р). У 1989–1993 рр. відділом керував М. Давиденко, а з 1994 р. його змінив учень В. Калюжного І. Наумко. Спочатку основною тематикою відділу було ендегенне мінералоутворення (магматичні, пегматитові, гідротермальні-метасоматичні процеси), а згодом, з огляду на зміну профілю Інституту, тематику значно розширили.

Водночас включення в мінералах почали використовувати для вирішення низки питань екзогенного мінералоутворення, зокрема, пов’язаних з особливостями кристалізації солей в евапоритових басейнах, умовами формування соленосних покладів та практичним застосуванням отриманих результатів. Цей науковий напрям формувався під керівництвом О. Петриченка (випускник Дніпропетровського державного університету), який протягом 1964–2007 рр. очолював відділ геохімії осадових товщ нафтогазоносних провінцій. З 2007 по 2015 р. відділом керував І. Дудок (тоді заступник директора Інституту з наукової роботи), який завершував докторську дисертацію, однак передчасна смерть не дала збутися його задуму. Нині обов’язки завідувача відділу виконує канд.

геол.-мін. наук С. Вовнюк. Головні напрями досліджень відділу – геологія і геохімія евапоритових утворень та генетично пов'язаних з ними родовищ гіпсу, кам'яної солі, калійних солей, самородної сірки, целестину різних регіонів України.

В обох зазначених відділах ІГГК НАН України розроблено багато нових методик дослідження включень і створено відповідні прилади, установки, пристрої тощо. Методичні розробки стосувалися такого: розмаїті зміни включень – герметичність, перенаповнення, розшнування, перебудова форми (В. Калюжний); використання фізико-хімічного аналізу різних систем для відтворення *PT*-параметрів мінералоутворення за флюїдними включеннями: побудова діаграм *V-T-X* системи силікат–вода, визначення тиску за газовими включеннями й за включеннями $H_2O + CO_2$, виявлення особливостей кипіння флюїдів; застосування графічного методу визначення температури й тиску (С. Вульчин, М. Єрмаков, В. Калюжний); визначення хімічного складу – методи вилучення газу з окремих мінералів і порід, водної витяжки, мікроколориметричне вимірювання рН, ультрамікроскопічне визначення вмісту окремих елементів, рентгенівський аналіз, визначення хімічного складу газів індивідуальних включень, мікроспектральне визначення твердих фаз та ін. (В. Калюжний, О. Петриченко, М. Братусь, З. Притула (Гриньків), З. Ковалишин, В. Шайдецька та ін.). Серед апаратурних розробок зазначимо такі: конструктивно нова волога камера і високотемпературна (650–1 600 °С) термокамера (В. Калюжний), вакуумна електромагнітна ступка-приставка для мас-спектрометра МХ-1303 (Й. Сворень), установка для визначення ізотопного складу вуглецю CO_2 (Г. Мамчур, Д. Возняк, З. Ковалишин, І. Наумко), кріометрична установка (В. Калюжний, Г. Гігашвілі), установка для експресного аналізу CO_2 (В. Калюжний, О. Матвієнко).

У вже згадуваних матеріалах Комісії мінералогії і геохімії КБГА опубліковано доповідь В. Калюжного “Исследование минералообразующих сред по включениям в минералах” (1961), у якій наведено схему класифікації включень у мінералах за складом і агрегатним станом, схему генетичної класифікації включень та загальну схему методів, які застосовують під час дослідження включень. Схарактеризовано перші результати аналізу водних витяжок рідких включень у кварці й топазі з камерних пегматитів Волині та бариті Закарпаття, визначення рН розчинів включень у деяких мінералах (стільніковий кварц, моріон, димчастий кварц, топаз, кальцит, флюорит та ін.) з різних родовищ, результати хімічних аналізів газових компонентів включень у мінералах волинських пегматитів. Уже тоді з'явилися перші надзвичайно важливі результати дослідження В. Калюжним включень у плагіоклазі й піроксені з кайнозойських вулканітів Закарпаття, $T_{\text{гом}}$ яких – 1 340 і 1 290 °С (1960, 1965). Науковець уперше в історії термобарогеохімії зафіксував за включеннями у фенокрисалах плагіоклазу з гіалодацитів явище незмішуваності силікатних розплавів, яке з'являлося внаслідок ліквідації. Ця знахідка була дуже важливою, оскільки тоді в науці панувала думка, що прояви ліквідації в природі малоімовірні, хоча експериментально їх фіксували в багатьох системах.

Згодом учень Володимира Антоновича Б. Жовтуля підтвердив і доповнив ці результати, що висвітлено в окремих публікаціях та кандидатській дисертації (1975–1978). Зокрема, Б. Жовтуля визначив $T_{\text{гом}}$ включень скла у кварці, плагіоклазі й піроксені та хімічний склад летких компонентів включень з порід ефузивного й гіпабісального комплексів Закарпаття. Значення $T_{\text{гом}}$ включень у фенокрисалах такі, °С: піроксен – 1 200–1 320 (кварцові діорит-порфірити), кварц – 1 145–1 495, плагіоклаз – 1 280–1 390 (гранодіорит-порфірити), плагіоклаз – 1 139–1 430 (гіалодацити) і 1 260–1 310 (андезит-базальти), кварц – 950–1 355 (ріоліти й ріолітові туфи). За результатами дослідження включень вивчено умови кристалізації кварцу в кислих вулканітах Березівського району

(Калюжний, Жовтуля, 1977). Автори зазначили, що характерною рисою магматичних включень є витриманість ступеня їхнього наповнення, який коливається від 85 до 100 %. Такі коливання визначено серед груп сингенетичних включень в одному й тому ж кристалі, що, вочевидь, зумовлено відокремленням газової фази (закипанням розплаву) у процесі кристалізації кварцу. Значення $T_{\text{гом}}$ у фенокристалах кварцу тут змінюються в досить широких межах – від 900 до 1 345 °С, в окремих випадках – до 1 495 °С. Згодом майже аналогічний температурний інтервал (від 800–900 до 1 400 °С) визначено для включень у кварці з ріолітових туфів Квасівського рудного поля (Калюжний, Сайко, 1999). Вивчення розплавних, розплавних з твердою фазою і газових включень у тридиміті з олівінових дацитів Чорної Гори в Закарпатті дало підстави М. Братусю й А. Коржинському (1978) зробити висновок, що мінерал формувався в гетерогенному середовищі за температури 1 280–1 050 °С.

Після перейменування та певного перепрофілювання Інституту головним науковим напрямом відділу геохімії глибинних флюїдів стала геохімія глибинних мінералоутворювальних флюїдів, тобто дослідження за флюїдними включеннями в мінералах складу й агрегатного стану, фізико-хімічних властивостей, генезису флюїдів земної кори і верхньої мантії та їхньої ролі у формуванні родовищ корисних копалин. На кристалогенетичних і фізико-хімічних принципах розроблено теоретичні й методичні основи вчення про мінералоутворювальні флюїди (термобарогеохімії–мінералофлюїдології–fluid inclusions research). Ці дослідження були пріоритетними в колишньому СРСР і є такими в Україні завдяки роботам колективу відділу на чолі з лауреатом Державної премії України, проф. В. Калюжним, якого нагороджено Міжнародною золотою медаллю імені Г. Сорбі як визнання світового рівня розробок.

Серед найвагоміших фундаментальних і прикладних результатів досліджень зазначимо такі. Уперше за допомогою випробуваних і уведених у дію мас-спектрометричних установок, які не мають аналогів у світовій практиці, доведено, що у включеннях нема водню, та виявлено справжні джерела його виникнення в разі руйнування кристалів (В. Калюжний, Й. Сворень, Б. Сахно). Дані щодо складу й PT -параметрів флюїдів підкорових і мантійних областей отримано за включеннями й газовими домішками в магматичних породах глибинного генезису: підводно-океанічних толейтах, потенційно алмазозонних лужних базальтоїдах Середньої Азії, кімберлітах Якутії (В. Калюжний, М. Братусь, І. Зінчук, Л. Редько, Й. Сворень, Б. Сахно, О. Круглов). Уперше доведено, що леткі компоненти базальтових (толейтових) лав рифтових зон Світового океану представлені тільки CO_2 (без урахування води та незначної рідкісної домішки азоту), ізотопний склад вуглецю якого відповідає мантійному (Г. Мамчур, Й. Сворень, В. Калюжний, І. Наумко). Це свідчить про особливу роль CO_2 у процесах, що відбуваються в літосфері на значній глибині.

У ході створення геохімічної моделі еволюції післямагматичного процесу для гранітних пегматитів заніркового (камерного) типу відкрито загальну закономірність формування пегматитів і гранітів середніх глибин, зокрема, грейзенізованих (періодична зміна кислотно-лужних властивостей флюїдів (відносного значення рН) на тлі закономірного зниження температури), та відповідних їм парагенезисів мінералів (мінеральних асоціацій); визначено оптимальний режим кристалізації кондиційної п'єзокварцової та ювелірної сировини пегматитів; запропоновано критерії оцінювання її якості в процесі розвідки пегматитових тіл (В. Калюжний, Д. Возняк, З. Ковалишин, М. Братусь, Г. Гігашвілі, П. Вовк, О. Матвієнко, О. Винар, Б. Ремешило, І. Наумко, О. Вовк).

Визначено закономірну періодичність у діяльності гідротерм золото-поліметалево-рідкіснометалевого зруденіння, зумовлену зміною агрегатного стану, складу і термобаричних параметрів середовища кристалізації. На цій підставі відтворено конкретні значення концентрації солей і газів, температури й тиску під час формування золото-поліметалевих, ртутних родовищ і магматичних порід Закарпаття (В. Калюжний, З. Ковалишин, М. Братусь, М. Вітик, Б. Жовтуля, Б. Заціха, О. Матвієнко, І. Наумко, Е. Платонова, Н. Сайко, Л. Дручок, З. Матвійшин, Р. Бондар), золото-поліметалевих родовищ Донбасу (В. Калюжний, І. Зінчук), рідкіснометалевих та золоторудних родовищ і проявів УЩ (В. Калюжний, О. Винар, О. Матвієнко, М. Братусь, І. Наумко, Н. Ліберсбах, Н. Сава), міднорудного зруденіння неопротерозойської трапової формації Волино-Поділля (І. Наумко, Н. Нестерович (Бацевич), Ю. Федоришин).

Геохімічні особливості вуглеводнів у флюїдних включеннях досліджено на прикладі жильних гідротермалітів Волино-Поділля, Українських Карпат, Криму й Туркменістану, викидів грязьових вулканів Керченського й Таманського півостровів. У прожилково-вкрапленій мінералізації серед відкладів нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій виявлено, що характер поширення і загальний (сумарний) склад летких компонентів включень у мінералах є важливим показником генезису й масштабності нафтогазових і рудних родовищ (І. Наумко, Й. Сворень, М. Давиденко). Вивчено умови спряжених процесів міграції й локалізації вуглеводнів і прожилково-вкрапленого мінералогенезу в системах залікованих тріщин за умов глибинного високотемпературного флюїду, внесок якого у складову мінералоутворювальних флюїдів зафіксовано на ізотопному рівні. Доведено подібність і, певною мірою, успадкованість складу включень у прожилкових мінералах та летких компонентів природних газів і газів пластових вод поблизу покладів нафти й газу (І. Наумко, Й. Сворень, М. Давиденко, З. Ковалишин, М. Братусь, І. Зінчук, Ю. Белецька, Л. Редько, Л. Телепко, Г. Занкович).

За результатами дослідження флюїдних включень та онтогенічними спостереженнями відтворено стадійність катагенного мінералоутворення в осадових товщах Львівського палеозойського прогину, передусім у межах Белз-Милятинського розлому (В. Калюжний, Г. Гігашвілі, І. Зінчук, І. Наумко, Е. Платонова, М. Зубик). Для виділених груп флюїдних вуглеводневмісних систем визначено елементи вертикальної зональності (вищий вміст легких вуглеводнів на значній глибині та збагаченість важкими вуглеводнями на меншій) на тлі закономірного підвищення температури з глибиною, а також латеральної зональності (зміна складу флюїдів від нафтових через газоконденсатні до суттєво метанових у напрямі з північного заходу на південний схід регіону).

У межах південно-західного схилу Українських Карпат за флюїдними включеннями у кварці типу мармароських "діамантів" з гідротермальних жил розкрито закономірну послідовність зміни термобаричних і геохімічних параметрів міграції вуглеводнів: з часом – від метаново-водного (240–200 °С, 300–50 МПа) до нафто-метаново-водного (170–80 °С, 50 МПа) та у просторі – від 210–225 °С, 80–100 МПа на південному сході до 230–240 °С, 300 МПа на північному заході (за максимальними значеннями) (В. Калюжний, М. Братусь, М. Вітик, І. Дудок, С. Ломов, Д. Мачальський, І. Наумко). Тут у включеннях уперше відшукали CO₂ у рідкому стані та легкі вуглеводні типу газоконденсатних (етан, пропан), що свідчить про вірогідну наявність покладів вуглеводнів (В. Калюжний, І. Дудок, Б. Сахно).

Вивчено склад і особливості просторово-часового розподілу газової фази флюїдів метаморфогенно-метасоматичного мінералогенезу в північно-західній частині Мармароського масиву. З'ясовано, що високометаморфізовані вуглисті утворення формували-

ся за температури 200–300 °С і високої газонасиченості метановмісного флюїду. Припускають, що в надрах регіону були умови для синтезу вуглеводнів з можливим подальшим формуванням їхніх покладів як у піднасувних структурах, так і у сприятливих структурах-пастках тектонічного походження (І. Наушко, Р. Бондар, І. Дудок, О. Марушкін, О. Нечепуренко, Б. Сахно, Й. Сворень).

Відтворено післяседиментаційні перетворення осадових порід у межах сучасного грязьового вулкана Старуна в Передкарпатті. Під час таких перетворень збагачені легкими вуглеводнями флюїди “фіксували” в кальциті й целестині, а з їхніх високомолекулярних складників унаслідок полімеризації (поліконденсації) і подальшої кристалізації в разі охолодження за умов високої відносної газонасиченості глибинного флюїду формувалася озокерит, який захоплював у включення й закриті пори легку складову вуглеводневої фракції (І. Наушко, І. Дудок, Ю. Колтун, Б. Сахно, Л. Телепко). У кальциті з викидів грязьових вулканів Керченського й Таманського півостровів уперше виявлено метанові включення високої густини та включення рідких вуглеводнів; за цими даними обчислено термодинамічні параметри формування глибинних осередків грязьового вулканізму за участю вуглеводневих сполук (В. Калюжний, Л. Телепко, О. Щириця).

Наведені матеріали стали підґрунтям для виділення двох крайніх гілок геохімічної спеціалізації мінерало-(рудо-)утворювальних флюїдів – за участю CO_2 дуже високої концентрації та за наявності в значній кількості CH_4 : з CO_2 - H_2O -флюїдами пов’язані, головню, рудопрояви поліметалів і золота, з CO_2 - CH_4 - H_2O -флюїдами – деякі генетичні типи золотоносної мінералізації і вуглеводневі нафтогазові скупчення (В. Калюжний, М. Братусь, О. Винар, І. Зінчук, З. Ковалишин, О. Матвієнко, І. Наушко, Й. Сворень).

У рамках нового наукового напрямку – геохімія і термобарометрія газів прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій – розроблено дуалістичну (абіогенно-біогенну) теорію генезису й синтезу природних вуглеводнів. Згідно з нею, велетенські й надвелетенські родовища нафти і газу утворилися з неорганічних та органічних вихідних вуглеводневих сполук у літосфері під впливом глибинного високотемпературного флюїду. Створено фізико-хімічну модель формування вугільних пластів з органічних решток в осадових товщах під впливом метановмісної складової глибинного флюїду з одночасним утворенням прожилково-вкрапленої мінералізації та її метанонасиченням (Й. Сворень, І. Наушко). Обґрунтовано теоретичні засади комплексу нових розшуково-оцінних критеріїв вуглеводневої сировини за даними вивчення флюїдних включень у катагенних мінералах (І. Наушко, Й. Сворень, З. Ковалишин, М. Братусь, М. Давиденко).

У відділі осадових нафтогазоносних провінцій мінерало-геохімічні дослідження в комплексі з термобарогеохімічними були спрямовані на вирішення проблем галогенезу – визначення фізико-хімічних параметрів середовища седиментації й перекристалізації солей, з’ясування питань еволюції хімічного складу води Світового океану на тлі загального історичного розвитку Землі, напрацювання критеріїв розшуку корисних копалин, пов’язаних з евапоритами загалом та з соляними структурами, зокрема. У 1963 р. з’явилася публікація О. Сливко та О. Петриченка “О включеннях в сильвине Предкарпаття”. Уперше в світі О. Петриченко розробив унікальний метод вивчення включень у мінералах евапоритів, суть якого полягає в екстрагуванні складними мікрокапілярами розчинів індивідуальних включень у соляних мінералах з подальшим визначенням за допомогою спеціальних реактивів вмісту основних хімічних компонентів розчинів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-}). Учений узагальнив результати вивчення включень у мінералах галогенних порід у вигляді чудово ілюстрованого довідника [35].

З'ясовано умови розвитку процесів давнього седиментогенезу осадових утворень та змін хімічного складу вод Світового океану у фанерозої. Деталізовано модель хімічної еволюції ропи морських евапоритових басейнів та океанічної води у фанерозої й неопротерозої, у якій узято до уваги новітні дослідження й літературні дані з хімічного складу розсолів включень у седиментаційному галіті морських евапоритових формацій трьох вікових етапів – докембрію–кембрію, пермі–тріасу та кайнозою; доведено, що вікові зміни хімічного складу океанічної води корелюють з віковим розподілом відкладів, збагачених органічною речовиною, а відтак – і з розподілом розвіданих запасів нафти й газу (О. Петриченко, В. Ковалевич).

За результатами дослідження включень у галіті з соляних товщ над виявленими й передбачуваними покладами вуглеводнів та поза їхніми межами обґрунтовано можливість використання цих включень (наявність краплинок нафти у включеннях газів переважно метанового складу) для прогнозування вуглеводневих покладів у підстильних відкладах (В. Ковалевич, А. Галамай, С. Вовнюк, С. Литвинюк).

Під час комплексних геохімічних досліджень мінералів з осадових порід Східних Карпат і суміжних регіонів І. Дудок визначив фізико-хімічні показники, які дають змогу відтворити фізико-хімічні умови регіональної міграції вуглеводневих сполук та оцінити можливість формування нафти й газу в певних просторових і вікових інтервалах. Науковець виконав регіональні дослідження включень жильного кальциту з флішових відкладів Українських Карпат, які засвідчили утворення мінералу в температурному інтервалі від 210 до 50 °С. Виявлено дві його генерації з $T_{\text{гом}}$ включень від 210–150 (кальцит-I) до 90–50 °С (кальцит-II), які відрізняються за складом включень. У першій генерації у включеннях домінує CH_4 (58–91 %) і мало CO_2 (1–23 %), у другій вміст CO_2 різко зростає (до 36 %). Від внутрішніх покривів (Рахівського, Поркулецького) до Передкарпатського прогину (Бориславсько-Покутський покрив) у жильному кальциті також закономірно змінюється склад газів включень: кількість CH_4 зменшується від 86,6–81,5 до 21,1 %, а кількість CO_2 збільшується від 1,8–8,4 до 34,8 %.

У неогенових товщах Карпатського регіону вперше визначено загальний вміст $\text{C}_{\text{орг}}$ у нерозчинному залишку галогенних порід та генетичний зв'язок органічного вуглецю з пелітовою фракцією, чим підтверджено теоретичні уявлення про активне біологічне життя в давніх евапоритових басейнах на стадії седиментації гіпсу, галіту і К-Mg солей. Результати визначення ізотопного складу кисню й сульфатної сірки підтвердили морський генезис досліджуваного евапоритового регіону (О. Петриченко, А. Побережський, С. Гринів). За даними вивчення включень у мінералах евапоритів узагальнено умови утворення гіпсових, сірчаних і целестинових покладів, уточнено фізико-хімічні параметри й особливості середовища хомогенного осадонагромадження в баденському евапоритовому басейні (А. Побережський).

Методи дослідження включень у мінералах широко застосовували під час вивчення магматичних і гідротермальних процесів серед солянокупольних структур Дніпровсько-Донецької западини (О. Петриченко, Б. Долішній, В. Шайдецька). Отримано нові дані про PT -умови мінералоутворення Слов'янського солянокупольного ртутного родовища, виявлено понад 40 мінералів у вигляді твердих включень у галіті, детально вивчено специфіку механізму утворення накладеної мінералізації в солях. Уперше для верхньопермської хомогенної товщі Переддобруджі О. Хмелевська застосувала ультрамікрохімічний аналіз рідких включень у галіті, за допомогою якого визначено, що седиментація галіту відбувалася з розчинів хлоридно-кальцієвого хімічного типу.

На підставі термобарогеохімічних досліджень отримано конкретні дані про фізико-хімічні умови формування солей нижньопермського Солікамського басейну в Передуральському прогині на прикладі вивчення Верхньокамського родовища калійно-магнієвих солей (Д. Сидор). З'ясовано, що головна седиментація відбувалася за домінування морських вод, близьких за складом до сучасної океанічної води, проте з дещо нижчим умістом SO_4^{2-} – до 5 г/л. У процесі соленагромадження послідовне концентрування розчинів призвело до їхнього цілковитого знесульфачення, збільшення вмісту калію до 33 г/л і магнію до 103 г/л, що завершилося утворенням потужної товщі калійних солей хлоридного складу. Післяседиментаційні перетворення відбувалися за підвищеної температури (30–92 °С), тиску до 20 МПа під впливом похованих метаморфізованих розчинів, насичених N_2 , CH_4 , CO_2 і H_2 . Важливими є знахідки у перекристалізованому галіті включень з вуглеводнями.

За результатами ТБГХ-досліджень в обох відділах докторські дисертації захистили В. Калюжний (“Динамика минералогенеза на основании изучения минералообразующих флюидов (гранитные занорышевые пегматиты и гидротермалиты Украины)”, 1979), О. Петриченко (“Физико-химические условия древнего соленакопления и эпигенез галогенных осадков”, 1983), В. Ковалевич (“Эволюция морского галогенеза и химический состав вод Мирового океана в фанерозое”, 1990) та І. Наумко (“Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів)”, 2006). Захищено також 28 кандидатських дисертацій: В. Калюжний (1955), О. Петриченко (1967), З. Ковалишин (1968), Б. Заціха (1969), Г. Гігашвілі (1970), Д. Возняк (1971), М. Братусь (1975), В. Ковалевич (1976), Б. Жовтуля (1976), О. Матвієнко (1978), Б. Долішній (1981), Й. Сворень (1984), В. Шайдецька (1984), І. Наумко (1987), Е. Платонова (1989), С. Гринів (1989), М. Вітик (1990), І. Дудок (1991), А. Побережський (1991), О. Хмелевська (1991), А. Галамай (2001), Д. Сидор (2002), І. Зінчук (2003), С. Вовнюк (2007), С. Литвинюк (2011), Н. Нестерович (2015), О. Вовк (2016), Г. Занкович (2016). Написано десятки наукових звітів, опубліковано сотні статей і понад десять монографій (рис. 8, 9): Калюжний В. А. “Методи вивчення багатофазових включень у мінералах” [10]; “Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України (рідкі включення, термобарометрія, геохімія)” (за ред. В. А. Калюжного) [29]; Петриченко О. Й. “Методи дослідження включень у мінералах галогенних порід” [38]; Петриченко О. Й. “Атлас мікрровключень в мінералах галогенних порід” [35]; Ковалевич В. М. “Физико-химические условия формирования солей Стебнижского калийного месторождения” [13]; Калюжний В. А. “Основы учения о минералообразующих флюидах” [11]; Ковалишин З. И., Братусь М. Д. “Флюидный режим гидротермальных процессов Закарпатья” [15]; Зінчук І. Н., Калюжний В. А., Щирица А. С. “Флюидный режим гидротермального минералообразования Центрального Донбасса” [9]; Винар О. М., Калюжний В. А., Наумко І. М., Матвієнко О. Д. “Мінералоутворюючі флюїди постмагматичних утворень гранітоїдів Українського щита” [28]; Петриченко О. Й. “Физико-химические условия осадкообразования в древних солеродных бассейнах” [36]; Петриченко О. Й. “Эпигенезис эвапоритов” [37]; Ковалевич В. М. “Галогенез и химическая эволюция океана в фанерозое” [14]; Давиденко Н. Н. “Источники золотоносных россыпей криолитозоны северо-востока Азии (по флюидным включениям в минералах)” [5]; Братусь М. Д., Давиденко М. М., Зінчук І. М. та ін. “Флюїдний режим мінералоутворення в літосфері (у зв’язку з прогнозуванням корисних копалин)” [54].



Рис. 8. Праці термобарогеохімічного спрямування науковців відділу геохімії глибинних флюїдів ІГГК НАН України.

Результати ТБГХ-досліджень наведено також у збірнику науково-інформаційних матеріалів “Інститут геології і геохімії горючих копалин” (за ред. І. Дудка), у розділі “Флюїдний режим катагенно-гідротермального процесу періоду формування жильної, прожилкової і прожилково-вкрапленої мінералізації в осадових товщах” (І. Наумко, М. Братусь, І. Дудок та ін.) у вже згадуваній праці “Карпатська нафтогазоносна провінція” [53] і в монографії “Комплексне освоєння газовугільних родовищ на основі потокових технологій буріння свердловин” (автори В. Мойсишин, І. Наумко, В. Пилипеч та ін.) [16], у якій теорії походження природних вуглеводнів обговорено з погляду процесів мінерало- і вуглеводнегенезу в літосфері за флюїдними включеннями в мінералах. Результати термобарогеохімічних досліджень, виконаних в обох відділах ІГГК НАН України, наведено також у розділі “Геологія” (М. Павлюк) книги “Наука західного регіону України (1990–2010): до 40-річчя Західного наукового центру” (2011) та в уже згадуваній книзі “Мінерали Українських Карпат. Процеси мінералоутворення” [27].

У багатьох зазначених працях містяться матеріали докторської дисертації І. Наумка, у якій узагальнено результати багаторічних власних досліджень і літературних даних стосовно флюїдних включень у мінералах України. Розроблено модель еволюції глибинних флюїдів за включеннями в мінералах і за нею з’ясовано головні чинники міграції, трансформації, диференціації й акумуляції флюїдів під час мінералогенезу на об’єктах післямагматичного, пегматитового, метаморфічного, гідротермального, гідротермально-метасоматичного та післяседиментаційного походження. Розширено знання стосовно геохімії газів і температурних та баричних умов формування прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазових областей і металогенічних провінцій, що дає змогу по-новому пояснювати синтез вуглеводнів та утворення власне прожилків



Рис. 9. Праці термобарогеохімічного спрямування науковців відділу геохімії осадових товщ ІГТГК НАН України.

і вкраплень, аналізувати проблеми генезису, міграції й диференціації палеофлюїдів, формування і розшуків корисних копалин різного генетичного типу.

З 1970-х років під опікою академіків Я. Белєвцева, Є. Лазаренка та Є. Шнюкова розпочато дослідження включень у мінералах в академічних інститутах Києва. Включення почали вивчати в Інституті геологічних наук і продовжили в новостворених Інституті геохімії і фізики мінералів (ІГФМ) (відділ регіональної та генетичної мінералогії) та Інституті геохімії навколишнього середовища (відділ термодинаміки геосфер). Головними виконавцями стали випускники геологічного факультету Львівського університету, тобто спадкоємці термобарогеохімічної школи М. Єрмакова. Найінтенсивніші ТБГХ-дослідження провадять у відділі регіональної і генетичної мінералогії нинішнього Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України імені М. П. Семененка (колишній ІГФМ). Після Є. Лазаренка цей відділ очолювали О. Литвин (1979–1991), В. Павлишин (1991–2000), з 2000 р. – Д. Возняк. У відділі створено лабораторії з вивчення включень, які оснащені найсучаснішим обладнанням (термокріокамери, хроматографи, вакуумні декрепітографи тощо). Це дає змогу отримувати об'єктивні дані щодо параметрів формування (температура, тиск, хімічний склад мінералоутворювальних флюїдів) різних об'єктів – камерних пегматитів Волині, залізорудних родовищ Криворізького басейну, золото-поліметалевої мінералізації Донбасу, рідкіснометалевої мінералізації УЩ, геологічних утворень Карпатського регіону.

Перші результати зазначених досліджень наведено у фундаментальних монографіях регіонально-мінералогічного спрямування: “Мінералогія і генезис камерних пегматитов Волині” (Лазаренко, Павлишин, Латыш, Сорокин, 1973); “Мінералогія Донецького

бассейна” (Лазаренко, Павлишин, Панов, Груба, 1975); “Мінералогія Криворожського басейна” (Лазаренко, Гершойг, Бучинська і др., 1977); “Мінералогія Приазовья” (Лазаренко, Лавриненко, Бучинська і др., 1981) (рис. 10).



Рис. 10. Праці українських мінералогів, у яких чільне місце посідають результати термобарогеохімічних досліджень.

Ці дослідження також стали важливою складовою останньої новаторської монографії Є. Лазаренка “Опыт генетической классификации минералов” [19] (див. рис. 10), у якій узагальнено давно задумані вченим принципи й особливості класифікації мінералів, що ґрунтуються на процесах мінералоутворення й типоморфних особливостях мінералів. Особливу роль відведено типоморфізму включень у мінералах. Уже тоді в межах Українських Карпат виявили флюїдні вуглеводневі включення (здебільшого рідкі й газові CH_4) у мармароських “діамантах” (Возняк, Грицик, Квасниця, Галабурда, 1973). Олена Лазаренко вперше визначила $T_{\text{гом}}$ газозво-рідких включень, які декорують планарні елементи у кварці з імпактітів УЩ. Ця температура виявилася такою (130 °С), що відповідала залишковій температурі під час імпульсного стиснення кварцу 10–20 ГПа (Вальтер, 2004). У 1984 р. опубліковано монографію “Типоморфизм минералов полиметаллических и ртутных месторождений Закарпатья” (автори Б. Заціха, В. Квасниця, С. Галій, О. Матковський), у якій серед типоморфних генетичних і розшуково-оцінних ознак мінералів виділяють термобарогеохімічні характеристики і стадійність процесів мінералоутворення.

У 1987 р. опубліковано нову інформацію про особливості магматичного мінералогенезу, пов’язаного з кайнозойським магматизмом, за розплавними включеннями в санідині (анортотклазі), тридиміті, кварці з міаролових порожнин у дацитах Чорної гори Закарпаття (В. Квасниця, В. Мельников, Д. Возняк та ін.). За включеннями гомогенного

захоплення (газовими з найбільшим вмістом твердих фаз такої гетерогенної системи) отримано справжні PT -параметри кристалізації санідину (анортоклазу): $T = (1\ 175 - 1\ 000) \pm 15\ ^\circ\text{C}$, $P = [(20 - 25) \cdot 10^{-3}] \pm (0,5 \cdot 10^5)\ \text{Па}$. Кристалізація його разом з тримітом і кварцом відбувалася з магматичного розплаву, який, очевидно, був сольовим, за інтенсивного виділення газової фази.

Майже одночасно у відділі регіональної та генетичної мінералогії Г. Кульчицька провадила важливі прецизійні дослідження включень в осадових мінералах гіпсоангідритових відкладів України. Результати висвітлено в окремих статтях, кандидатській дисертації і вже згадуваній третій книзі циклу “Мінерали Українських Карпат” (у ній Г. Кульчицькій належить характеристика гіпсу й ангідриту). За включеннями ангідриту в гіпсі зроблено висновок, що в солеродному басейні, який був у Передкарпатті в тираський час, сульфат кальцію осаджувався у вигляді як гіпсу, так і ангідриту. На думку Г. Кульчицької, специфічність умов у неогеновому басейні полягала в наявності у складі морської води органічної речовини, зокрема бітумів нафтового ряду.

Надзвичайно важливими стали деякі нові методичні підходи до вивчення включень у мінералах. Серед них вплив γ -опромінення на склад вуглеводневих включень у кварці (Возняк, Литовченко, Кульчицька, 1998), метод оцінки мінімальних значень PT -параметрів мінералоутворення за явищами плавлення й розтріскування включень самородного золота у кварці та включеннями CO_2 , що його зафіксували Д. Возняк і В. Павлишин, метод визначення PT -параметрів утворення стільникового кварцу – параморфози низькотемпературної модифікації мінералу по високотемпературній з густою мережею залікованої тріщинуватості – за рідинно-газовими “стільниковими” включеннями, який розробив Д. Возняк.

З’ясовано, що високотемпературні потоки CO_2 -флюїду (як продукти дегазації основної (ультраосновної) магми) брали участь у формуванні родовищ різних корисних копалин у межах УЩ (Возняк, Павлишин, 2001). Ці потоки мали високі значення PT -параметрів (максимальні значення були не нижчі, ніж $1\ 100 - 1\ 200\ ^\circ\text{C}$ та $820 - 870\ \text{МПа}$) і надходили з глибини понад 40 км. На Майському золоторудному родовищі вони зумовили плавлення й розтріскування включень самородного золота у кварці та утворення включень силікатного складу, а в літєвих пегматитах Інгуло-Інгулецького мегаблока – плавлення й розтріскування піротину та появу у кварці апоскарнових кварцитів (літєве родовище Надія) вторинних включень, у яких законсервовані сульфідні, силікатні й карбонатні розплави. Подальші дослідження Д. Возняка засвідчили, що CO_2 є важливою складовою ендегенних процесів мінералогенезу на УЩ (2015). Науковець зазначив, що нагромаджено багато відомостей про участь потоків CO_2 -флюїду у формуванні родовищ і рудопроявів різних корисних копалин. Зокрема, прояви таких потоків виявлено в камерних пегматитах Волині й на Пержанському берилієвому родовищі (Волинський мегаблок), на Майському родовищі золота в Голованівській шовній зоні та в літєвих пегматитах західної частини Інгульського мегаблока, у межах Азовського цирконій-рідкісноземельного родовища та рідкісноземельно-уран-торієвого рудопрояву Діброва (Приазовський мегаблок). У камерних пегматитах потоки CO_2 -флюїду брали участь у завершальних стадіях формування північної та центральної ділянок пегматитового поля. Ці потоки сприяли формуванню пізнього кварцу, який кристалізувався з гетерогенної системи мінералоутворювальних розчинів типу водний розчин-фази CO_2 . На Пержанському родовищі головний рудний мінерал – гентгельвін – кристалізувався з гетерогенної мінералоутворювальної системи водний високотемпературний сольовий розчин-рідкий CO_2 , про що свідчать знахідки в мінералі сингенетичних первинних включень

CO₂ і водного розчину (Возняк, Галабурда, Бельський, Довбуш, 2015). Доказом високих *PT*-параметрів потоків CO₂ є своєрідні за будовою і генезисом вторинні вклучення, які назвали вклученнями з проміжною мінеральною фазою, або так звані вклучення з шапочною; їх вважають індикаторними, оскільки вони утворюються тільки за високих значень температури й тиску потоків CO₂ (Возняк, Бельський, Остапенко, 2012).

Важливу генетичну інформацію отримали Д. Возняк і В. Квасниця (2010) за флюїдними вклученнями в цирконі кімберлітового типу – парагенному мінералі алмазу. З'ясовано, що утворення алмазу відбувалося спочатку з безводних сольових розплавів, а пізніше – із флюїдів, збагачених водою (гідросилікатними розчинами). У разі некімберлітового способу транспортування алмазу – завдяки проходженню флюїду по ослаблених зонах астеносфери й літосфери – алмазоутворювальний флюїд, найімовірніше, відповідає сольовому (карбонатитовому) розплаву, який близький за складом до вклучень у цирконі кімберлітового типу, а за властивостями, згідно з геофізичними даними, найбільше відповідає рідкій фазі астеносферної зони Землі (Возняк, Квасниця, Вірт, 2006).

Нові дані одержано за результатами вивчення вклучень у кварці і плагіоклазі карпатських ігнімбритів ріодацитового складу, по яких розвинуті цеоліти Сокирницького родовища та рудопроявів Водиця й Липча (Мельников, Гречанівська, Дьоменко та ін., 2006; Melnikov, Lazarenko, Greczanovska, 2009; Гречанівська, Лазаренко, Лупашко, 2013). У плагіоклазі виявлено три типи вклучень: 1) склуваті вклучення з газовою бульбашкою або без неї. Скло С-1, яке складене з різнобарвних газових глобул (бульбашок), містить > 75 % SiO₂; 2) частково розкристалізовані вклучення, у яких чітко розрізняють ділянки гомогенного безбарвного і розкристалізованого бурого скла, незаконірно розміщеного в об'ємі вклучення; 3) зональні розплавні вклучення, центральна частина яких виповнена розкристалізованим склом коричневого кольору С-2, збагаченим FeO і CaO. У процесі нагрівання вклучень до 1 190 °С фіксують оплавлення контурів кристала, у розкристалізованих вклученнях – розділення на газову складову і скло. Деякі розкристалізовані вклучення за $T = 1\ 198\text{--}1\ 199\text{ °С}$ гомогенізуються. У кварці теж виділено три типи вклучень: 1) розплавні вклучення мікрогетерогенної структури, які були захоплені до ліквідації; 2) розплавні вклучення скла з газовими глобулами або без них; двофазова система (силікатний розплав–газова фаза) формувалася за $T = 1\ 180\text{--}1\ 190\text{ °С}$; 3) вклучення глобул скла С-2 з тонкою поверхнею поділу темного кольору, гомогенізація відбувається за 1 200 °С. Автори дійшли висновку, що ліквідація силікатного розплаву відбувалась за $T = 1\ 200\text{--}1\ 300\text{ °С}$, а кристалізація кристалокластів кварцу і плагіоклазу – за нижчої температури повної гомогенізації.

За даними головно термобарогеохімічних досліджень київські науковці захистили дві докторські дисертації: Возняк Д. “Флюїдні вклучення у мінералах як індикатори ендегенного мінералоутворення” (2003); Кульчечька Г. “Леткі компоненти мінералів як індикатори мінералоутворення” (2009). Вагоме місце посідають результати ТБГХ-досліджень у докторських дисертаціях В. Павлишина (“Типоморфізм кварца, слюд и полевых шпатов в ендегенных образованиях”, 1981), С. Галія (“Типоморфізм сульфидных минералов рудных формаций Украины”, 1995), О. Ємця (“Геохімія та мінералогія мідного і золотополіметалічного зруденіння в геологічних структурах Передсудетта та обрамлення Українського щита”, 2008), К. Деревської (“Палеогідротермальний режим літогенезу та гіпогенного рудоутворення в межах Балтійсько-Дністровської перикратонної зони прогинів у рифей–фанерозой”, 2008). Такі дослідження стали головними або важливою складовою низки кандидатських дисертацій, які захистили О. Щириця (1965), С. Кузнецова (1970), Д. Возняк (1971), Ю. Галабурда (1974), С. Терещенко (1980),

О. Лазаренко (1983), Т. Ігнатенко (1987), Г. Кульчицька (1987), Л. Пасальська (1990), Д. Черниш (2003), О. Гречановська (2011), В. Бельський (2013).

Одним із найвагоміших здобутків київських дослідників є, звичайно, фундаментальна монографія Д. Возняка “Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення” [2] (див. рис. 9). У ній за результатами власних досліджень включень у мінералах і на підставі критичного аналізу попередників описано процеси ендегенного мінералоутворення – від найбільш високотемпературних і високобаричних мантієвих продуктів до низькотемпературних і низькобаричних гідротермальних утворень кварцу типу мармароських “діамантів”. Наведено детальну характеристику флюїдних включень, яка охоплює відомості про їхній генезис, зміни, методи дослідження, висвітлено роль потоків CO₂-флюїдів у мінералоутворенні (на прикладі вже згадуваних Майського золоторудного родовища, рідкіснометалевих і заніркових (камерних) пегматитів УЩ). Спеціальні розділи присвячено стільниковому кварцу як термобарометру та новинкам у використанні включень радіоактивних мінералів для реконструкції умов мінералоутворення. Проаналізовано гідротермальні утворення Карпат, Донбасу і Криму, які пов’язані з вуглеводневими флюїдами, на прикладі мармароських “діамантів” як фіксаторів вуглеводнів. Оригінальним є розділ “Природні несилікатні розплави – генетичні аспекти”, у якому схарактеризовано внесок вивчення включень в алмазі й цирконі з кімберлітів у відтворення фізико-хімічних параметрів алмазоутворювального флюїду та вірогідні способи винесення ним алмазу з мантії у верхні горизонти земної кори, описано виявлені сольові розплави в анортотлазі (санідині) з дацитів Чорної гори (Закарпаття) і прояви незмішуваного силікатного й рудного (оксидного) розплаву у кварцовому порфірі с. Рудня Осошня (північний захід УЩ). Завершальний розділ присвячено використанню флюїдних включень у практиці розшуково-розвідувальних робіт [26, 32].

Дмитрові Возняку належить підготовка й видання за його редакцією книги Б. Заціхи “Кристалогенезис и типоморфные особенности минералов ртутного и флюоритового оруденений Украины” (1989). В основу цієї праці покладено докторську дисертацію Богдана Володимировича – талановитого вченого, молодого доцента кафедри загальної геології, мінералогії і петрографії Івано-Франківського інституту нафти і газу (нині Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), яку, на жаль, він не захистив через хворобу й передчасну смерть. У зазначеній праці викладено реконструктивний аналіз генетичних особливостей ртутного і флюоритового зруденіння, до якого залучено значну кількість результатів ТБГХ-досліджень.

Київські науковці – непрямі представники ТБГХ-школи Миколи Єрмакова – залучали дослідження включень у мінералах під час аналізу особливостей формування самородної мідної мінералізації у вендських трапах Волині та ртутного і Hg-As-Sb зруденіння в Українських Карпатах. Результати цих робіт висвітлені, головню, у виданнях Інституту фундаментальних досліджень: “Генетичні особливості мінералізації в базальтових туфах волинської серії венду” (Шумлянський, Деревська, Нагальова та ін., 1999); “Парагідротермальна модель самородного мідного рудоутворення в трапах Волині” (Шумлянський, Приходько, Деревська, Загнітко, 2001); “Літогенез і гіпогенне рудоутворення в осадових товщах України” (Шумлянський, Деревська, Дудар та ін., 2003); “Геолого-генетична модель рудоутворювальної системи і пошукові ознаки самородного мідного зруденіння в трапах Волині” (Деревська, Шумлянський, Галецький, 2006); “Температурний режим формування мідної мінералізації в трапах Волині” (Деревська, Безугла, Радзівіл, Александров, 2006); “Деякі особливості літогенезу і рудоутворення у флішових Карпатах” (Шумлянський, Деревська, Загнітко та ін., 2008);

“Мінералізувальні розчини і геохімія ртуті в породах північно-східного Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма” (Шумлянський, Деревська, Загнітко та ін., 2009).

Важливі дослідження, пов’язані з вивченням включень у мінералах, провадили у Дніпропетровському гірничому інституті (нині Національний гірничий університет) проф. Е. Лазаренко та його учні. Результати цих досліджень наведено в низці статей і захищених дисертацій: кандидатській (1987) і докторській (1995, 2007) П. Баранова, кандидатських Л. Шукайла (1980) та Л. Козловського (1982). Науковці вперше досить детально дослідили тверді й розплавні включення в акцесорних цирконі й апатиті з трьох орогенних магматичних формацій Закарпаття. Ці роботи виконували в тісній співпраці з науковцями відділу глибинних флюїдів ІГГК НАН України. Основну увагу приділяли хімічному складу розплавних включень, термометричним даним і мінеральному складу твердих включень. Результати досліджень використано не тільки для генетичних побудов, а й для стратиграфічного розчленування вулканітів. Цікавими є такі факти: в апатиті розплавні включення гомогенізувалися за 1 250–1 310 °С, причому в деяких з них під час нагрівання до 1 300 °С з’являлися дві незмішувані рідини, тому такі включення зачислено до ліквацийного типу (Калюжний, Шукайло, Жовтуля, 1978); у розплавних включеннях циркону з ріолітів навіть за нагрівання до 1 500 °С повної гомогенізації не відбувалось (Шукайло, Жовтуля, 1978), а в цирконі з порід андезитової формації тільки за 1 350–1 400 °С помітно плавилася рудні частинки (Шукайло, 1982). Визначено температуру кристалізації мінералів магматичної і післямагматичної стадій утворення ріолітових формацій Карпат (Лазаренко, Козлов, Козловський і др., 1978). Досліджено акцесорні мінерали та розплавні включення в них з порід різного складу і різних фаз вулканізму міоценової ріоліт-ігнімбритової формації (Баранов, Козловський, Соколова, 1984). Петро Баранов у докторській дисертації розробив наукові основи геологопромислового поділу гранітоїдів Західного Приазов’я щодо прогнозування літєвих пегматитів, виконав розбраккування геохімічних аномалій та оцінку каменебарвної сировини за даними твердих включень у кварці. На думку дослідника, генезис мінералів та їхню спеціалізацію визначають за включеннями живильного і мінералоутворювального середовища.

Отже, унікальність генетичної інформації, що її отримують за флюїдними включеннями в мінералах, визначає нові ТБГХ-досліджень. У комплексі вони сприяють вирішенню таких важливих завдань, як “вивчення геохімії продуктів глибинної дегазації та флюїдного режиму літосфери (тектоносфери); визначення джерел флюїдів і закономірностей їхньої геохімічної (мінера(метало)генічної) спеціалізації у земній корі; відтворення динаміки мінералогенезу та умов просторово-часової локалізації корисних копалин; з’ясування походження природних вуглеводнів” (Наушко, 2006). Тому, за словами О. Пономаренка зі співавт. [40, с. 17], “вчення про включення виходить за рамки мінералофлюїдології, як його пропонував називати В. Калюжний (1982), і перетворюється у загальну флюїдологію (Наушко та ін., 2000)”.

З фундаментального погляду ми впритул підійшли до створення мінералофлюїдологічної (термобарогеохімічної) моделі Землі. Водночас у практичному аспекті, як зазначив В. Соболев [46], потрібно “достигнуть такого уровня работ, когда можно было бы конкретно сказать: это крупное месторождение, или этот пегматитовый шток, или эта жила открыты только благодаря методам термобарогеохимии, а без них они не были бы открыты”.

Життя підтвердило справедливість цих пророчих слів акад. В. Соболева – видатного вченого українського походження. Адже справді є такі рудні тіла і рудні стовпи, які “не

були б відкриті” без ТБГХ-досліджень. Наприклад, науковці Львівського університету на підставі ТБГХ-даних визначили перспективні ділянки на глибоких горизонтах Зуя-Холбінського золоторудного родовища (Східний Саян); після розкриття їх свердловинами перерахували запаси металу на родовищі, і виявилось, що вони зросли з 8 до понад 350 т золота. Нині є всі підстави зачислити до перспективних за ТБГХ-показниками глибокі горизонти українських золоторудних родовищ (Східноюрійське, Клинівське, Майське, Сауляк та ін.) [34].

Викладене засвідчує, що без вивчення флюїдних включень у мінералах у більшості випадків не можна однозначно вирішити таку важливу наукову проблему, як перебіг природних процесів мінералогенезу в земній корі та верхній мантії. Особливо це стосується процесів, пов'язаних з дефлюїдизацією глибинних горизонтів літосфери, мантійним і коровим петрогенезисом, формуванням різноманітних родовищ корисних копалин, а також післяседиментаційним мінералоутворенням в осадовій товщі, яке супроводжує утворення природних вуглеводнів, їхню міграцію й нагромадження з формуванням відповідних покладів, у тім числі так званих нетрадиційних (метан вугільних покладів, “сланцевий” газ, газ ущільнених колекторів тощо). Саме включення – дефекти кристалічної структури мінералу – є важливим джерелом генетичної інформації й водночас реальними свідками процесів, які відбувалися під час формування мінеральних парагенезисів порід, руд, покладів нафти й газу тощо та відповідних геохімічних і термобаричних ореолів у розшуковому просторі.

Важливими є нові, нетрадиційні прецизійні технології, за допомогою яких можна проводити розшуки корисних копалин одночасно зі з'ясуванням генезису й синтезу вуглеводнів на атомно-молекулярному рівні, фіксованому дефектами у кристалах мінералів. Такі технології розробляють у відділі геохімії глибинних флюїдів ІГГК НАН України у рамках наукових геологічних напрямів “Термобарометрія і геохімія флюїдів прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій” та “Надра Землі – природний фізико-хімічний реактор” [33]. Це сприятиме розробці комплексу термобаричних і геохімічних критеріїв прогнозування, розшуків та оцінювання родовищ корисних копалин за генетичними показниками.

Внесок українських учених у галузь термобарогеохімічних досліджень цілком підтверджує влучні та змістовно лаконічні слова одного з раних корифеїв вивчення включень у мінералах К. Сорбі: включення, які ми вивчаємо, дуже малі, проте висновки, яких ми внаслідок цього доходимо, великі. За О. Ферсманом, важливість дослідження визначена не тільки тим, що воно через гушавину лісу прорубує зовсім іншу дорогу, а й тим, що воно робить цю просіку проїжджою і змушує всіх рухатися новим шляхом, а термобарогеохімічна школа проф. М. Єрмакова розширює її, охоплюючи дослідженнями щораз нові, часто непередбачувані об'єкти. Саме в цьому полягає світовий науковий феноменальний поступ сучасних термобарогеохімічних досліджень флюїдних включень у мінералах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возняк Д. К. Розвиток в Україні вчення про флюїдні включення в мінералах / Д. К. Возняк // Записки Укр. мінерал. т-ва. – 2005. – Т. 2. – С. 34–43.
2. Возняк Д. К. Мікровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення / Д. К. Возняк. – К. : Наук. думка, 2007. – 280 с.

3. Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України / [О. Б. Бобров, А. О. Сіворонов, Д. С. Гурський та ін.]. – К. : УкрДГРІ, 2004. – 368 с.
4. Геохимия и термобарометрия эндогенных флюидов : [сб. науч. тр.]. – Киев : Наук. думка, 1988. – 152 с.
5. Давиденко Н. Н. Источники золотоносных россыпей криолитозоны северо-востока Азии (по флюидным включениям в минералах) / Н. Н. Давиденко. – Киев : Наук. думка, 1992. – 200 с.
6. Ермаков Н. П. Исследования минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние) / Н. П. Ермаков. – Харьков : Изд-во Харьков. ун-та, 1950. – 540 с.
7. Ермаков Н. П. Геохимические системы включений в минералах / Н. П. Ермаков. – М. : Недра, 1972. – 375 с.
8. Ермаков Н. П. Термобарогеохимия / Н. П. Ермаков, Ю. А. Долгов. – М. : Недра, 1979. – 271 с.
9. Зинчук И. Н. Флюидный режим гидротермального минералообразования Центрального Донбасса / И. Н. Зинчук, В. А. Калюжный, А. С. Щирица. – Киев : Наук. думка, 1984. – 104 с.
10. Калюжный В. А. Методи вивчення багатозафазових включень у мінералах / В. А. Калюжный. – К. : Вид-во АН УРСР, 1960. – 184 с.
11. Калюжный В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах / В. А. Калюжный. – Киев : Наук. думка, 1982. – 240 с.
12. Калюжный В. А. Проблемы исследования эндогенных (минералообразующих) флюидов по включениям в минералах / В. А. Калюжный // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1983. – Вып. 61. – С. 73–78.
13. Ковалевич В. М. Физико-химические условия формирования солей Стебникского калийного месторождения / В. М. Ковалевич. – Киев : Наук. думка, 1978. – 99 с.
14. Ковалевич В. М. Галогенез и химическая эволюция океана в фанерозое / В. М. Ковалевич. – Киев : Наук. думка, 1990. – 156 с.
15. Ковалишин З. И. Флюидный режим гидротермальных процессов Закарпатья / З. И. Ковалишин, М. Д. Братусь. – Киев : Наук. думка, 1984. – 100 с.
16. Комплексне освоєння газовугільних родовищ України на основі потокових технологій буріння свердловин / [В. М. Мойсишин, І. М. Наумко, В. І. Пилипець та ін.]. – К. : Наук. думка, 2013. – 308 с.
17. Кульчицька Г. Феномен успіху термобарогеохімії Миколи Єрмакова (до 100-річчя від дня народження) / Г. Кульчицька, Д. Возняк, Д. Черниш // Мінерал. зб. – 2015. – № 64, вип. 2. – С. 214–225.
18. Лазаренко Е. К. К вопросу о современных задачах советской минералогии / Е. К. Лазаренко // Минерал. сб. – 1951. – № 5. – С. 3–12.
19. Лазаренко Е. К. Опыт генетической классификации минералов / Е. К. Лазаренко. – Киев : Наук. думка, 1979. – 316 с.
20. Лазаренко Е. К. О книге Н. П. Ермакова “Исследования минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние)” / Е. К. Лазаренко, Е. М. Лазько // Минерал. сб. – 1951. – № 5. – С. 359–368.
21. Лазько Е. М. Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения (по термобарогеохимическим данным) / Е. М. Лазько, Ю. В. Ляхов, А. В. Пизнюр. – М. : Недра, 1981. – 256 с.

22. Лазько Е. М. Николай Порфирьевич Ермаков – основоположник термобарогеохимии / Е. М. Лазько, О. И. Матковский, А. В. Пизнюр // Минерал. журн. – 1989. – Т. 11, № 4. – С. 97–98.
23. Леммлейн Г. Г. Классификация жидких включений в минералах / Г. Г. Леммлейн // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. – 1959. – Ч. 88, вып. 2. – С. 137–143.
24. Лесняк В. Ф. Основы анализа физико-химических свойств минералообразующих растворов (по включениям в минералах) / В. Ф. Лесняк. – М. : Недра, 1964. – 219 с.
25. Ляхов Ю. Термобарогеохімічна школа професора М. П. Єрмакова (до 90-річчя з дня народження) / Ю. Ляхов, М. Павлунь, Н. М'язь // Мінерал. зб. – 2003. – № 53, вип. 1–2. – С. 171–177.
26. Матковський О. Монографія Д. К. Возняка “Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення” – ще один крок до пізнання мінералоутворювальних процесів у літосфері / О. Матковський, І. Наумко // Мінерал. зб. – 2007. – № 57, вип. 1. – С. 125–129.
27. Мінерали Українських Карпат. Процеси мінералоутворення / [О. Матковський, П. Білоніжка, Д. Возняк та ін.]. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 584 с.
28. Мінералоутворюючі флюїди постмагматичних утворень гранітоїдів Українського щита / О. М. Винар, В. А. Калюжний, І. М. Наумко, О. Д. Матвієнко. – К. : Наук. думка, 1987. – 172 с.
29. Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України (рідкі включення, термобарометрія, геохімія) / [за ред. В. А. Калюжного]. – К. : Наук. думка, 1971. – 216 с.
30. Минералообразующие флюиды и рудогенез : 7 Всесоюз. совещ. по термобарометрии и геохимии рудообразующих флюидов : материалы (Львов, 30 сентября–2 октября 1985 г.). – Киев : Наук. думка, 1988. – 280 с.
31. Наумко І. М. Підсумки та перспективи досліджень термобарометрії і геохімії палеофлюїдів літосфери (за включеннями у мінералах) / І. М. Наумко, В. А. Калюжний // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2001. – № 2. – С. 162–175.
32. Наумко І. М. Вагомий внесок у відтворення процесів ендегенного мінералоутворення (рецензія на монографію Д. К. Возняка “Мікрровключення та реконструкція умов ендегенного мінералоутворення”) / І. М. Наумко, І. В. Попівняк // Мінерал. журн. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 104–107.
33. Наумко І. Нові технології пошуків корисних копалин, основані на дослідженнях флюїдних включень у мінералах / І. Наумко, Й. Сворень // Актуальные проблемы поисковой и экологической геохимии : междунар. науч. конф. : сб. тезисов. – Киев : Інтерсервіс, 2014. – С. 23–25.
34. Павлунь М. М. Історія термобарогеохімічних досліджень на геологічному факультеті: етапи становлення і теоретико-прикладні підсумки / М. М. Павлунь // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2012. – Вип. 26. – С. 18–36.
35. Петриченко О. И. Атлас микровключений в минералах галогенных пород / О. И. Петриченко. – Киев : Наук. думка, 1977. – 182 с.
36. Петриченко О. И. Физико-химические условия осадкообразования в древних солеродных бассейнах / О. И. Петриченко. – Киев : Наук. думка, 1988. – 128 с.
37. Петриченко О. И. Эпигенез эвапоритов / О. И. Петриченко. – Киев : Наук. думка, 1989. – 64 с.
38. Петриченко О. Й. Методи дослідження включень у мінералах галогенних порід / О. Й. Петриченко. – К. : Наук. думка, 1973. – 91 с.

39. Пизнюр А. В. Основы термобарогеохимии / А. В. Пизнюр. – Львов : Вища школа, 1986. – 200 с.
40. Пономаренко О. М. Розвиток мінералогічних ідей Володимира Вернадського в Україні / О. М. Пономаренко, Г. О. Кульчицька, Д. С. Черниш // Мінерал. журн. – 2013. – Т. 35, № 1. – С. 14–23.
41. Професор Микола Порфірович Єрмаков – теоретик і засновник нової галузі геологічних знань – термобарогеохімії (до 100-річчя від дня народження) / Ю. Ляхов, О. Матковський, М. Павлунь, А. Сіворонов // Мінерал. зб. – 2013. – № 63, вип. 2. – С. 4–13.
42. Професор Николай Порфирьевич Ермаков – теоретик и основатель нового направления геологической науки – термобарогеохимии (к 100-летию со дня рождения) / Ю. В. Ляхов, О. И. Матковский, Н. Н. Павлунь, А. А. Сиворонов // Смирновский сборник – 2014 (научно-литературный альманах). – М., 2014. – С. 27–37.
43. Реддер Э. Флюидные включения в минералах : в 2 т. / Э. Реддер. – М. : Недра, 1987. – Т. 1. – 560 с. ; Т. 2. – 632 с.
44. Смит Ф. Г. Геологическая термометрия по включениям в минералах / Ф. Г. Смит / [под ред. и с дополнениями Г. Г. Леммлейна]. – М. : Иностран. л-ра, 1956. – 166 с.
45. Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов / В. С. Соболев. – Львов : Изд-во Львов. ун-та, 1949. – 332 с.
46. Соболев В. С. О состоянии и задачах термобарогеохимических исследований / В. С. Соболев // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. – М. : Недра, 1982. – С. 4–6.
47. Тезисы докладов регионального совещания по термобарогеохимии процессов минералообразования / [отв. ред. Н. П. Ермаков]. – Ростов-н/Д. : Изд-во Ростов. ун-та, 1973. – 362 с.
48. Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски и оценка оруденения) / Ю. В. Ляхов, Н. Н. Павлунь, А. В. Пизнюр, И. В. Попивняк. – Львов : Свит, 1995. – 280 с.
49. Термобарометрия и геохимия рудообразующих флюидов (по включениям в минералах) : 7 Всесоюз. совещ. : тез. докл. (Львов, 30 сентября–2 октября 1985 г.). – Львов, 1985. – Ч. 1. – 220 с. ; Ч. 2. – 272 с.
50. Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования (по данным изучения флюидных включений в минералах) : республ. совещ. : тез. докл. (Львов, сентябрь 1975 г.). – Львов, 1975. – 116 с.
51. Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования (по данным изучения флюидных включений в минералах). – Киев : Наук. думка, 1978. – 172 с.
52. Учення про мінералотворні флюїди : пріоритетні завдання розвитку на сучасному етапі / І. Наумко, В. Калюжний, М. Братусь [та ін.] // Мінерал. зб. – 2000. – № 50, вип. 2. – С. 22–30.
53. Флюїдний режим катагенно-гідротермального процесу періоду формування жильної, прожилкової і прожилково-вкрапленої мінералізації в осадових товщах / І. Наумко, М. Братусь, І. Дудок та ін. // Карпатська нафтогазоносна провінція. – Львів ; К. : ТОВ “Український видавничий центр”, 2004. – С. 308–345.
54. Флюїдний режим мінералоутворення в літосфері (в зв'язку з прогнозуванням корисних копалин) / [М. Д. Братусь, М. М. Давиденко, І. М. Зінчук та ін.]. – К. : Наук. думка, 1994. – 192 с.

55. Roedder E. Fluid inclusions / E. Roedder // Reviews in Mineralogy. – Virginia : Mineral. Soc. of America, 1984. – Vol. 12. – 644 p.
56. Yermakov N. P. Research on the Nature of Mineral-Forming Solutions (With Special Reference to Data from Fluid Inclusions) / N. P. Yermakov / [ed. Edwin Roedder]. – New York : Pergamon, 1965. – 750 p.

*Стаття: надійшла до редакції 09.03.2017
прийнята до друку 26.04.2017*

**PROFESSOR MYKOLA YERMAKOV
THERMOBAROGEOCHEMICAL SCHOOL
AND ITS CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT
OF GENETIC MINERALOGY AND THE THEORY
OF MINERAL DEPOSITS**

O. Matkovskiy¹, I. Naumko², M. Pavlun¹

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskiy St., 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: mineral@franko.lviv.ua*

²*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU,
3a, Naukova St., 79060 Lviv, Ukraine
E-mail: naumko@ukr.net*

The world-famous thermobarogeochemical school of Professor Mykola Yermakov has been originated at the Geological faculty of the Lviv University in the late 1940's–early 1950-ies. Now it is officially approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine. Following events played an important role in the origin of the school: (1) creation by M. Yermakov world's first specialized laboratory for the study of inclusions and attraction of the first graduates of Geological faculty to carrying out these studies; (2) the design of new instruments, improvement of equipment to heat the inclusions in air (chamber of M. Yermakov) and in contact with the metal (chamber of V. Kaliuzhnyi), the creation and application of automatic thermoacoustic logger (Yu. Dolhov), development of methods and facilities for submicroscopic definitions of the composition and concentration of solutions in the individual inclusions (V. Kaliuzhnyi); (3) first publication of M. Yermakov research results and in-depth analysis of predecessors researches, etc. Scientific centers for the study of inclusions in minerals appeared in various regions of the former USSR (Kyiv, Moscow, Novosibirsk, Leningrad (now Saint Petersburg), Vladivostok, Ulan-Ude, Almaty, Rostov-on-Don, etc.) and abroad.

The formation of thermobarogeochemistry as a branch of knowledge at the junction of geochemistry and mineralogy falls on the 1960–1970-ies. Thermobarogeochemical studies have been actively conducted not only at the Lviv University, where thermobarogeochemistry has been originated, but in the scientific institutions of the Academy of Sciences – at the Institute of Geology of Useful Minerals (now the Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NASU) in Lviv and the Institute of Geochemistry and Physics of Minerals (now M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU) in Kyiv.

Thermobarogeochemical investigations at the Lviv University had and have today largely applied focus: they are associated with the endogenous ore formation at the different genetic type deposits of nonferrous, rare and noble metals (scientific works of Ye. Lazko, V. Lesniak, Yu. Li-

akhov, M. Pavlun, A. Pizniur, I. Popivniak et al.). Pioneer was the research of A. Yasynska, which was first proposed genetic classification of inclusions in minerals of meteorites and the Moon rocks. Today the teaching discipline “Thermobarogeochemistry” is taught to students of the Geological faculty.

The scientists of the Ukrainian academic institutions deepen and develop thermobarogeochemical direction of the geological science in part of genetic mineralogy, ore formation and metallogenic forecast assessment of mineral deposits and perspective areas. For example, thermobarogeochemical researches at the Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals is concerned with the study of mineral formation in endogenous processes (magmatic, pegmatitic, hydrothermal-metasomatic); they are also used to solve a number of problems of exogenous mineral formation, in particular related to the peculiarities of the salts crystallization in evaporative basins, formation conditions of saline deposits and application of the results in practice (V. Kaliuzhnyi, O. Petrychenko, V. Kovalevych, I. Naumko and other scientists).

At the Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, the laboratories for the study of inclusions, which are equipped with the most modern equipment, have been established. This allows to obtain objective data regarding the parameters of formation (temperature, pressure, mineral-forming fluids chemical composition) of different objects – Volyn chamber pegmatites, iron-ore deposits of Kryvyi Rih basin, gold-polymetallic mineralization of Donbas, rare-metal mineralization of the Ukrainian shield, geological formations of the Carpathian region etc. (the scientific works of D. Vozniak, H. Kulchytska, V. Pavlyshyn and other researchers).

The article convincingly proved that the study of inclusions in minerals have become a unique source of quantitative genetic information about the parameters of the long and complex process of minerogenesis in different fluid-dynamic situations of the lithosphere. Due to the results of comprehensive precision study of fluid inclusions in minerals the thermobaric and geochemical characteristics of the fluid environment of minerals crystallization have been reconstructed as well as mineral paragenetic assemblages in rocks and ores of magmatic, pegmatitic, hydrothermal and sedimentary origin. The possibility of the application of thermobarogeochemical research in the practice of prospecting, exploration and exploitation has been proven and in many cases has been implemented.

Key words: Mykola Yermakov, thermobarogeochemical school, thermobarogeochemistry, inclusions in minerals, fluid, mineral-forming environment, history of science, Lviv University.