

УДК 55

## ІСТОРІЯ ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ГЕОЛОГІЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТІ: ЕТАПИ СТАНОВЛЕННЯ І ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНІ НАСЛІДКИ

**М. Павлунь**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
геологічний факультет, кафедра геології корисних копалин,  
вулиця Грушевського, 4, 79005, Львів, Україна,  
e-mail: zaggeol@franko.lviv.ua*

Розглянуто хронологічні та логічні етапи становлення і розвитку термобарогеохімічних досліджень флюїдних включень у мінералах.

*Ключові слова:* термобарогеохімія, флюїдні включення, постмагматичні формації, гідротермальні розчини.

У складній системі геологічних знань проблема розкриття фізико-хімічної сутності процесів розвитку мінерального світу є однією з найважливіших. Адже саме її взято за основу розробки загальної теорії петрорудогенезу і саме вона визначає нові шляхи розвитку практичної геології з використанням відомих законів фізики та хімії.

Закономірності та умови розвитку геологічних процесів реставрують передусім за їхніми продуктами: породами, рудами, мінералами з характерними особливостями мінерального і хімічного складу, внутрішньої будови, текстури і структури. Проте визначення таких ознак не завжди коректне і залишає місце для суб'єктивних оцінок, особливо в тих випадках, коли йдеться про кількісну оцінку фізико-хімічних параметрів мінералоутворення. Щодо цього одним з найнадійніших джерел інформації є саме середовище мінералоутворення, яке майже повністю збережене в мінералах у вигляді багато- і однофазових включень. Вивченням таких "мікропроб" середовища та оцінкою його головних фізико-хімічних показників займається порівняно молода галузь геологічної науки – термобарогеохімія (ТБГХ).

Як самостійний напрям геологічних досліджень ТБГХ виникла на межі фізичної хімії і генетичної мінералогії, відіграючи до 50-х років ХХ ст. здебільшого допоміжну роль спочатку у вигляді так званої мінералогічної термометрії, а потім мінералогічної термометрії і барометрії. Як наслідок фундаментальних досліджень лауреата Державної премії СРСР професора М. Єрмакова, його учнів і послідовників, ТБГХ опинилася у сфері суміщення наукової проблематики сучасної геології, геохімії, петрології і теорії рудоутворення, її розглядають нині як принципово нове і потужне джерело генетичної інформації про фізико-хімічні процеси геологічного минулого, вона є складовою частиною вчення про родовища корисних копалин (РКК). Сьогодні ТБГХ РКК у багатьох аспектах забезпечує теоретичне обґрунтування процесів петрорудогенезу і вже реально

допомагає геологічному виробництву в дистанційному прогнозуванні, розшуках та оцінці похованих на різних глибинах РКК.

Отже, термобарогеохімія – це вчення про мінерало- та рудоутворювальне середовище, яке ґрунтується на результатах комплексного фізико-хімічного вивчення його мікропроб (включень), герметично ізольованих у мінералах упродовж їхнього формування та постгенетичних перетворень. Розкриваючи діалектичну сутність різноманітних процесів формування природних мінеральних асоціацій (агрегатів) порід і руд, вона орієнтує дослідження на всебічний аналіз їхніх просторово-часових і причинно-наслідкових зв'язків з геологічним середовищем. ТБГХ має дуже специфічний предмет дослідження (включення), методи (гомогенізації, декрепітації, кріометрії тощо), мету та завдання (Єрмаков, 1972), що ставить її в один ряд з уже сформованими галузями геологічної науки – геохімією, мінералогією, геофізикою, геотектонікою та ін.

Головна мета ТБГХ полягає в розкритті одного зі шляхів пізнання діалектичної єдності геологічних і фізико-хімічних процесів, оскільки повне уявлення про природу різноманітних мінеральних скупчень, передусім про генезис РКК, неможливе без знання про загальну спрямованість і динаміку режиму, агрегатний стан та іонно-газовий склад середовища, його щільність (густину), окисно-відновні та кислотно-лужні властивості.

Таку всеохопну і важливу інформацію з відповідним ступенем достовірності й об'єктивності, як засвідчила історія становлення ТБГХ, можна отримати лише внаслідок комплексного вивчення фізичних властивостей і хімічного складу включень мінералоутворювального середовища (ВМС), які капсульовані в мінералах і є безпосередніми "свідками" геохімічних процесів минулого; без відповідного масиву таких знань неможливо проводити наукове прогнозування РКК, раціонально спрямувати їхній розшук та розвідування, давати правильну оцінку перспективності знайдених об'єктів; без цих знань розшуки та розвідування РКК малоефективні і не відповідають сучасним вимогам. Саме тому геолог повинен знати і вміти розрізняти ознаки похованих РКК в усьому різноманітті, передбачати поведінку рудних тіл родовищ з глибиною й оцінювати їхню перспективність передусім за допомогою непрямих методів, у тому числі термобарогеохімічних.

Дуже стисло загальну історію вивчення флюїдних включень у мінералах, у тому числі ТБГХ досліджень, умовно можна розділити на такі найголовніші змістовні етапи:

- стихійний опис флюїдних включень мінералоутворювального середовища у мінералах (Абу-Райхон-Біруні);
- спеціальне вивчення ВМС як самореєструвальних термометрів і барометрів, чому присвячені праці Г. Деві, Д. Брюстера, А. Карпінського Г. Сорбі, Н. Циркеля, А. Філіпса;
- подолання генетично-інтерпретаційної кризи і так званого агностицизму у вивченні ВМС (праці А. Шубнікова, Г. Леммлейна, М. Єрмакова);
- планомірне вивчення і системне вдосконалення методології ТБГХ досліджень ВМС і генетичного сприйняття та розуміння отриманих комплексних результатів (дослідження М. Єрмакова, Ю. Долгова, В. Каложного, Л. Колтуна, Є. Лазька, Є. Вульчина та ін.);
- сучасний стан регіональних та рудноформаційних узагальнень даних теоретичної, аналітичної і методичної ТБГХ з переходом до ТБГХ моделювання і прогнозування зруденіння – становлення та розвиток прикладної ТБГХ, підґрун-

тя якої закладене і розвинуте проф. Є. Лазьком з соратниками до нового напрямку на кафедрі геології корисних копалин Львівського національного університету імені Івана Франка, а пізніше підхоплене та реалізоване для різних геоструктурних і металогенічних зон та рудних формацій Ю. Долговим, Д. Хітаровим, В. Мойсеєнком, В. Гончаровим, В. Труфановим, В. Нарсеєвим, В. Наумовим, Ф. Рейфом, С. Реддером та ін.

Саме четвертий етап дослідження включень став часом остаточного становлення ТБГХ як самостійного наукового напрямку, планомірного вдосконалення його методологічних основ і генетичного усвідомлення результатів. П'ятий, уже сучасний, етап є тією висхідною науково-прикладною експонентою, яка теоретично й практично поглибила та розширила проблематику ТБГХ досліджень у змістовно-інституціональному сенсі, привела до формування на геологічному факультеті нового напрямку – прикладної термобарогеохімії в частині ТБГХ моделювання, діагностики та прогнозування рудних формацій як важливої складової школи ТБГХ М. Єрмакова.

М. Єрмаков – видатний та неординарний учений-геолог ХХ ст., лауреат Державної премії СРСР, премії імені В. Вернадського, доцент, професор, завідувач кафедри загальної геології і декан геологічного факультету (1945–1952) Львівського університету, у 1964–1974 рр. – Голова міжнародної комісії рудоутворювальних розчинів у флюїдних включеннях (КОФФІ). Йому по праву належить честь перетворення мінералотермобарометрії в нову галузь геологічної науки – термобарогеохімію. Ця сьогодні загальноприйнята назва запропонована М. Єрмаковим у 1968 р. на I Міжнародному симпозиумі з вивчення включень розчинів і розплавів 23-ї сесії Міжнародного геологічного конгресу (МГК) у Празі, офіційно затверджена на II Міжнародній нараді з рудоутворення в Токіо-Кіото у 1970 р.; там вона “виборола” першість в альтернативній назви “термодинамічна геохімія”.

У 1949 р. М. Єрмаков на підставі матеріалів дослідження включень у мінералах опублікував у Львові першу в світовій геологічній літературі книгу “Критерии познания генезиса минералов и среда рудообразования”, яка закріпила пріоритет його досліджень у так званій на той час термобарогенічній галузі знань, розпочатих ним ще в роки воєнного лихоліття на родовищі оптичного флюориту на Памірі. Системні й цілеспрямовані дослідження флюїдних включень у мінералах, що були справою всього його яскравого життя, дали змогу розробити загальну теорію включень як геохімічних мікросистем середовища мінералоутворення, створити методологічну основу комплексного їх вивчення, вирішити низку проблем геолого-генетичної інтерпретації отриманих даних і їхнього прикладного використання під час геолого-розвідувальних робіт і в технологіях штучного вирощування кристалів.

Роком пізніше вийшла його друга монографія “Исследование минералообразующих растворов” (Харків, 1950), яка остаточно й переконливо довела науковій геологічній спільноті, що ТБГХ – це принципово нове і вкрай потужне джерело об'єктивної (отриманої з “мірою і вагою”, як писав С. Смірнов) інформації про фізико-хімічні процеси геологічного минулого і складова частина вчення про РКК та петрологічні процеси.

На цьому підґрунті аргументовано розкрито діалектичну єдність процесів петродогенезу, обґрунтовано виразну ієрархію структурних рівнів організації речовини в розвитку земної кори і завершено закріплення світового пріоритету ТБГХ досліджень на геологічному факультеті Львівського університету.

Воістину революційне значення мали мінімум такі аспекти досліджень М. Єрмакова: 1) конструювання і створення апаратури для нагрівання включень під мікроскопом не в парафіновій ванночці, як було раніше, а в металевій електротермокамері з нагріванням до 600 °С; 2) розробка першої і майже завершеної класифікації включень за агрегатним станом і складом та методики розпізнавання агрегатного стану мінералоутворювального середовища, відкриття гомогенізації включень у газову фазу (тип II, пневматоліз); 3) доповнення генетичної класифікації включень новим класом поширених у природі “первинно-вторинних” (“регенераційних”) включень. Він описав інформаційне значення всіх типів включень – первинних, первинно-вторинних, вторинних для розшифрування генезису мінералів, асоціацій рудних жил і родовищ. Принципове значення мали рекомендації щодо шляхів практичного використання включень у різних галузях геології і техніки (технології).

Результати досліджень М. Єрмакова переконливо довели об’єктивність інформації за включеннями і забезпечили науково аргументоване підґрунтя до подальшого їхнього вивчення “з мірою і числом”. Разом з працями М. Єрмакова суттєву роль у цьому відіграли праці Ю. Долгова, В. Калюжного, Л. Колтуна, Є. Лазька, В. Лесняка, Н. М’язь, Р. Сухорського, Є. Вульчина та інших дослідників.

За порівняно нетривалий період (1945–1952) досліджень флюїдних включень у мінералах М. Єрмаков у Львівському університеті створив першу в світі спеціальну лабораторію прецизійного вивчення включень у мінералах. Надзвичайні організаторські здібності, уміння зацікавити і повести за собою дали йому змогу сформулювати тут так звану Львівську школу ТБГХ, яка відома в усьому світі. Про що, власне, і йтиметься далі.

Дослідження в цей період мали переважно методологічний характер, їх проводили під керівництвом і за безпосередньою участю М. Єрмакова. Вони, здебільшого, стосувалися розробки детальної системи дослідження включень, 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-декрепітографа (Ю. Долгов), розробки способів і приладдя для ультрамікроскопічних визначень складу і концентрації розчинів окремих включень (В. Калюжний).

Непростими були й перші кроки щодо інтерпретації отриманих результатів, “пов’язування” їх з природними процесами. Експериментальні дослідження з вирощування штучних кристалів із включеннями материнського середовища допомогли перекинути місток від лабораторних даних до природних процесів. Отримали підтвердження критерії розпізнавання мінералів, сформованих за участю розплаву, газового або водного розчину; типи і види гомогенізації включень дали змогу впевнено розрізнити продукти пневматолізу від гідротермальних, що, за висловом академіка О. Бетехтіна, стало “великим відкриттям”. Обґрунтування генетичного типу “первинно-вторинних” включень суттєво розширило можливості їхнього використання для отримання свідчень про умови утворення мінералів.

Важливим досягненням стала розробка конкретної методики термометричного аналізу з оцінкою діапазону і режиму зміни температури утворення мінералів за включеннями, які поширені в різновікових зонах росту. Як довів М. Єрмаков, відмінності температурних даних не тільки спричинені поступовим охолодженням материнського середовища, а й пов’язані з пульсаційним надходженням нових порцій різнотемпературних розчинів. Це сприяло вирішенню проблеми обґрунтування послідовної кристаліза-

ції мінералів, їхніх генерацій, зародження й асоціацій (парагенезисів). Визначені таким способом періоди пульсаційного й еволюційного розвитку мінералоутворювальних систем М. Єрмаков узяв за основу виділення етапів, стадій мінералоутворення різних ступенів розвитку. Учений правильно зазначав про об'єктивність поняття щодо теле-, епі-, мезо- і гіпотермальних родовищ, що було на той час класифікаційним таксоном за В. Ліндгреном. Сtribкоподібні зниження температури гомогенізації включень у межах одного кристала М. Єрмаков уперше пояснив як результат проявів внутрішньомінералізаційних посувів, що зумовило, разом із подрібненням мінеральних агрегатів, стрімкі зміни фізико-хімічної рівноваги системи.

Отримані дані про зміни температури, агрегатного стану, складу і концентрації розчинів включень у ділянках поширення різних за складом інтрузій, на його думку, сприяють виявленню родинних зв'язків з ними зруденіння, що дає змогу певним чином зорієнтувати розшукові роботи.

Генетичне пізнання мінерального світу неможливе без глибокого і всебічного аналізу характеру зв'язків його конкретних об'єктів з навколишньою природою або середовищем. Їхній взаємозв'язок у загальному випадку виявляється у вигляді різноманітних процесів енергетичного і речовинного обміну. Саме цим і зумовлена генеральна спрямованість та динаміка еволюції геохімічних систем різного масштабу – від планетарних до локальних у межах конкретного геологічного простору. Середовище, як наголошував М. Єрмаков, завжди перебуває на нижчому ступені структурної організації матерії, проте має вищий енергетичний потенціал порівняно з тим об'єктом, який нею народжений, існує і змінюється в його оточенні. З погляду енергетичного стану і матеріальної впорядкованості розрізняють такі геохімічні типи середовища ендегенного мінералоутворення: 1) розплавно-магматичне іонно-електронне середовище; 2) газове середовище малоорганізованої, проте дуже активної матерії; 3) рідинне, представлене водними і вуглекислотно-водними розчинами електролітів у широкому діапазоні концентрації та змін термодинамічних параметрів. Переважно мінералоутворення відбувається за участю рухомого (мобільного) середовища, у вигляді різного складу магматичних розплавів, ювенільних і полігенних газових і рідинних гідротермальних розчинів. Розчини активно мобілізують і транспортують мінералотворні компоненти до місць локалізації (накопичення) в нових геологічних і термодинамічних умовах. Тому потрібно розрізняти середовище мінералоутворювальне (розчини) і середовище геологічне (породи), які метасоматично взаємодіють і вміщують зруденіння.

Отже, середовище мінералоутворення, в широкому розумінні цього поняття, означає, як доведено М. Єрмаковим, нерозривну єдність двох його складових – мінералоутворювального і геологічного середовища, що потребують під час вивчення РКК однакової уваги. Елементи геологічного середовища, наявність яких не відображалась або майже не відображалась на ході рудоутворення, називають “навколишнім середовищем”. Речовинно-енергетична взаємодія мінералоутворювального і геологічного середовища з появою нових і перетворенням старих породоутворювальних мінералів називають “процесом мінерало- чи рудоутворення, який послідовно розвивається в часі та просторі”.

Уже як директор Музею землезнавства Московського університету (з 1953 р.) М. Єрмаков опублікував ще дві фундаментальні праці: “Геохимические системы включений в минералах” (М., 1972) та разом із Ю. Долговым “Термобарогеохимию” (М., 1979) – адекватно назві нового напрямку досліджень. Детальніше і повніше про наукові

розробки цього видатного вченого-геолога та про науково-методологічні підвалини термобарогеохімічного напрямку досліджень ВМС можна дізнатися з праці Є. Лазька, О. Матковського, А. Пізнюра “Николай Порфирьевич Ермаков – основоположник термобарогеохімії” (Мінерал. журн. 1989. Т. 11. № 4) і Ю. Ляхова, М. Павлуна, Н. М’язь “Термобарогеохімічна школа проф. М.П. Єрмакова (до 90-річчя з дня народження)” (Мінерал. зб. 2004. № 54. Вип. 2).

Після від’їзду на працю в Москву (тоді так було усталено – забирати в метрополію відомих і талановитих інтелектуалів, технократів тощо) М. Єрмаков залишив на геологічному факультеті невеликий, проте дуже дієдатний та ідеологічно згуртований науковий колектив геологів-термобарогеохіміків, які продовжили і продовжують нині прецизійні дослідження з поглибленням і розширенням термобарогеохімічної проблематики постмагматичних і метаморфогенних родовищ благородних, рідкісних і кольорових металів та низки родовищ неметалевої сировини. Очолив роботи його найближчий соратник, професор і багаторічний завідувач кафедри геології корисних копалин Є. Лазько – ідеолог і засновник у Львівському університеті вкрай важливого напрямку – прикладної ТБГХ.

Найважливіші наукові здобутки цього колективу науковців, що впродовж другої половини ХХ ст. брали участь у безпосередньому науково-прикладному формуванні сучасного обличчя термобарогеохімії, стисло можна звести до такого.

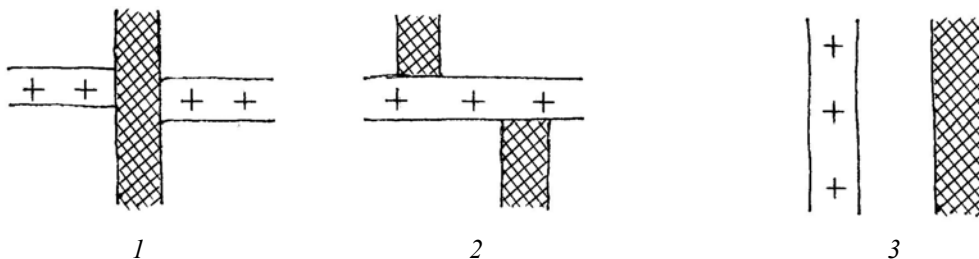
У цей період становлення ТБГХ як нового геолого-генетичного напрямку особливо важливою проблемою все ще була проблема обґрунтування й аргументації достовірності та адекватності отриманих за включеннями даних. Зокрема, це передусім стосувалось точності температурних характеристик гомогенізації включень і відповідності справжнім умовам мінералоутворення, особливо для мінеральних асоціацій, утворених на різних глибинах. Передбачали, що об’єкти, які залягають глибоко, повинні мати вищу температуру, аніж приповерхневі. Причину вбачали у впливі літостатичного тиску, який обчислювали за навантаженням гірських порід. Наявність вільних порожнин і періодична зміна їхнього об’єму, часто дуже суттєва, робила такий підхід недостатньо коректним. Необхідно було розвивати відомі й шукати нові методи визначення тиску і так уводити поправки на тиск, еквівалентні глибині утворення мінеральних парагенезисів. На той час уже була доведена (Р. Наккен, 1921) можливість визначення тиску за сингенетичними включеннями  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

Відомо, що Є. Лазько опублікував не так багато статей із ТБГХ, однак їхній вплив на цю галузь перебільшити важко. Зокрема, наведемо кілька дуже показових прикладів. Розробляючи тоді методи барометрії за включеннями  $\text{CO}_2$ , дослідники зіткнулися з проблемою неможливості отримати повну температуру гомогенізації вуглекислотних включень, бо вони “вибухали” задовго до температури гомогенізації, оскільки  $\text{CO}_2$  має дуже низьку критичну температуру ( $31,35^\circ\text{C}$ ) і тиск (7,39 МПа). Є. Лазько у 1949 р., аналізуючи бінарну діаграму  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  та генетичні й фазові особливості поширення відповідних ВМС, дійшов оригінального висновку, що в будь-якому об’ємі рідини, захопленої мінералом у вигляді ВМС, навіть у випадку найнезначніших коливань термодинамічної рівноваги і розчинності, з’явиться газова фаза. Тому температура зникнення цієї фази у включенні дасть справжню температуру його консервації, а внутрішній тиск у ньому відповідатиме тискові мінералоутворення. Та оскільки цей тиск безпосередньо виміряти не можна, то його можна розраховувати за сингенетичними включеннями  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Самі ж включення водного розчину, сингенетичні включенням  $\text{CO}_2$ ,

дають змогу визначити справжню температуру мінералоутворення, чого не можна зробити, як бачимо, за включеннями  $\text{CO}_2$ , однак які успішно можна використати для розрахунку густини діоксиду вуглецю в момент консервації за температурою часткової гомогенізації відповідних включень. І вже після цього соратники М. Єрмакова та Є. Лазька В. Калюжний і Л. Колтун 1953 р. практично визначили тиск мінералоутворення для умов формування кварцу з поліметалевих родовищ Нагольного кряжа в Донбасі. Принагідно зазначимо, що проф. В. Калюжний – неперевершений методист прецизійного вивчення ВМС, у тому числі діагностики хімічного складу рідкої, газової та твердої фаз індивідуальних включень тощо, є автором настільних монографій для всіх, хто досліджує ВМС у мінералах, зокрема, таких: “Методи вивчення багатофазових включень в мінералах” (К., 1960) та “Основи учения о минералообразующих флюидах” (К., 1982). Доцент кафедри Л. Колтун теж дуже багато зробив для вивчення генезису золоторудних і поліметалевих родовищ Уралу та Східного Забайкалля, свого часу він двічі був деканом геологічного факультету, та, на жаль, дуже рано відійшов від нас (у 1982 р.), однак його цеглинка у фундаменті ТБГХ лежать дуже міцно.

Тоді ж, у 50-х роках, Ю. Долгов уперше сконструював термозвукову декрепітаційну установку та зміг зареєструвати температуру розриву перегрітих ВМС. Дослідження декрепітації різних мінералів дали змогу цьому вченому, зокрема, виконувати кореляцію і розчленування так званих декрепітаційно “німих” метаморфічних, вулканогенно-осадкових та осадкових товщ, виділяти опорні (маркувальні) горизонти, виявляти джерела знесення і визначати потужність пластів та будувати певні структури за наявністю значних змін форми термозвукових діаграм на різних контактах пластів тощо.

У цей же період А. Локерман розробив дуже оригінальний декрепітаційний метод вирішення питання вікового співвідношення пари руда–дайка. Його зміст полягав у такому. Добре відомо, що є три найпоширеніші варіанти цього співвідношення (див. рисунок).



Різновікові співвідношення пари руда–дайка: 1 – рудне тіло перетинає дайку; 2 – рудне тіло перетинає дайку; 3 – дайка і рудне тіло паралельні.

Зрозуміло, що в першому випадку рудне тіло утворилося після вкорінення дайки, бо її розриває; у другому випадку – до утворення дайки, бо вона його перетинає, а в третьому випадку це питання з’ясувати складно. Як бути? У цьому разі на допомогу приходить явище природної декрепітації: якщо відібрані проби з рудного тіла в декрепітографі в різних температурних інтервалах “мовчать”, то тепло під час укорінення дайки нагріло включення в рудному тілі, вони зазнали природної декрепітації, через що не

фіксують звукових імпульсів розриву включень, а це означає, що дайкове утворення пізніше, і парагенетичного зв'язку між дайкою і рудою немає.

У 1955 р. вийшла книга про флюїдні включення французького вченого Г. Дейші, а наприкінці 50-х років у напрямі вивчення включень розпочав інтенсивно працювати американський учений С. Роддер. Ці та інші вчені зробили вагомий внесок у розвиток уже сформованої завдяки піонерним працям М. Єрмакова галузі знань. На цей час ТБГХ вийшла далеко за межі допоміжної ролі як мінералогічної термометрії, охопивши ширші та кардинальні проблеми генетичної мінералогії та петрології, геохімії, рудоутворення та літогенезу. По суті, виникла нова галузь геологічної науки: **термобарогеохімія**, з особливим предметом досліджень – включеннями мінералоутворювального середовища, специфічними і достатньо досконалими методами визначення температури, тиску, рН і Eh, складу і концентрації розчинів та розплавів; зроблені були перші важливі кроки у використанні результатів вивчення включень для потреб практичної геології і штучного вирощування кристалів.

Важливий етап становлення ТБГХ як самостійної галузі геологічної науки супроводжувало динамічне збільшення кількості спеціальних публікацій з вираженими тенденціями зростання пріоритетності праць радянських дослідників. Якщо з 1920 по 1939 р. у світовій літературі налічувалось усього десять наукових статей з проблеми вивчення включень, то у 1940–1949 рр. – 49, з них 22 опубліковані дослідниками першої спеціалізованої лабораторії у Львівському державному університеті імені Івана Франка. Серед публікацій цього періоду особливо виділимо фундаментальну працю М. Єрмакова “Исследование минералообразующих растворов” (1950), за яку він отримав Державну премію СРСР. Ця книга стала дороговказом для послідовників М. Єрмакова і першим підручником для студентів геологічного факультету Львівського університету, яким у 1950–1953 рр. М. Єрмаков читав курс “Геологічна термометрія”. Ця праця взята за основу його докторської дисертації “Исследование температуры и агрегатного состояния минералообразующих растворов”, захист якої відбувся в Геологічному інституті АН СРСР і зводився до відстоювання системи принципів нового напрямку геологічної науки. Унаслідок цього переважна більшість провідних учених того часу – Д. Белянкін, Ю. Білібін, А. Заварицький, Д. Коржинський, В. Ніколаєв, С. Смірнов, В. Соболев, В. Чухров, Д. Щербаков – виявили глибоке розуміння проблеми і підтримали подальший розвиток цього напрямку.

Водночас науковці-соратники М. Єрмакова, активно працюючи в обраній сфері ТБГХ досліджень флюїдних включень у мінералах, завершували відповідні тематичні аспекти власних досліджень у вигляді дисертацій на здобуття вченого ступеня кандидата та доктора геолого-мінералогічних наук.

Є. Лазько 1955 р. захистив докторську дисертацію з питань кристаленості кварцових жил і їхнього генезису Алдану з широким залученням для генетичних реконструкцій і елементів зональності та прогнозу поширення кристаленосних жил результатів вивчення флюїдних включень. Були захищені перші кандидатські дисертації “ветеранами” дослідження включень: “Выявление генезиса некоторых месторождений Северного Кавказа с помощью термометрического анализа включений в минералах” (В. Лесняк, 1952), “Опыт генетического исследования некоторых золотоносных месторождений по включениям в минералах” (Л. Колтун, 1953), “Материалы к изучению минералообразующих систем” (Е. Вульчин, 1953), “Опыт применения термозвукового анализа к исследованию геологических объектов” (Ю. Долгов, 1953), “Многофазовые включения в



минералах (методы изучения состава и отдельные вопросы применения)” (В. Калюжний, 1955), “Температурный режим образования некоторых хрусталеносных месторождений Алдана” (Р. Сухорский, 1955), “Главные черты геологии Приаргунья” (А. Локерман, 1960), “Особенности генезиса хрусталеносных кварцевых жил Урала и Алдана (по включениям в минералах)” (А. Пизнюр, 1960), “Кристаллизация и структуры кварца хрусталеносных жил Центрального Казахстана” (Н. Мязь, 1961).

Сам засновник нового напрямку М. Єрмаков уперше в світі, як уже зазначено, розпочав читати курс “Геологічна термометрія” (1950–1953), а його монографія “Исследование минералообразующих растворов” стала в той час єдиним підручником для студентів геологічного факультету. Оскільки ж це все-таки була монографія, а не власне підручник з описом методики і дидактики та інтерпретації дослідження включень, то на початку 60-х років один із його учнів написав теж перший у світі підручник з вивчення включень у мінералах, який вийшов у Львові 1964 р. Це “Основы анализа физико-химических свойств минералообразующих растворов по включениям в минералах” (В. Лесняк, 1964. 219 с.), який досі в багатьох аспектах не втратив змістовної суті.

У той же час Ю. Долгов у Новосибірську (ІГ СФ АН) створив лабораторію з вивчення включень у метаморфічних і магматичних породах; В. Калюжний у відділі геохімії глибинних флюїдів (ІГГК НАНУ) сформував експериментально-методичну групу надзвичайно прецизійних досліджень ВМС у Львові. Тоді ж виникли групи дослідників включень у різних науково-дослідних інститутах Москви, Ленінграда, Києва, Тбілісі, Ростова-на-Дону, Ташкента, Алма-Ати, Улан-Уде, Іркутська та деяких інших міст колишнього СРСР.

За кордоном плідно почали працювати Г. Дейша (Франція), Є. Реддер (США), Х. Імаї, С. Такеноучі (Японія) та інші вчені. Так, по суті, завершувався четвертий етап формування нової наукової галузі геології – ТБГХ, коли зроблено важливі кроки в отриманні коректної геолого-генетичної інтерпретації та використання результатів вивчення ВМС для потреб теоретичної і прикладної геології та штучного вирощування кристалів. Підготований міцний фундамент для переходу на нову якість ТБГХ досліджень – сучасного регіонального і рудноформаційного узагальнення і ТБГХ моделювання, діагностики та прогнозування рудних формацій.

На початку 60-х років ХХ ст. за ідеологічного наполягання й організаційного сприяння завідувача кафедри геології корисних копалин проф. Є. Лазька в сферу наукових інтересів дослідників флюїдних включень залучено десятки постмагматичних родовищ різних геолого-генетичних і формаційних типів у Східному Забайкаллі (мідно-молібденові порфірові, золото-срібні та золото-кварцові, флюоритові, молібден-вольфрамові), Західному Забайкаллі та Північній Бурятії (золоторудні, флюоритові), а також молібден-вольфрамові грейзенові у Центральному Казахстані й золото-кварцові в Ціліноградському золоторудному районі Північного Казахстану, свинцево-цинкові на Кавказі і сурм'яно-ртутні в Киргизії, Якутії й Україні, золото-срібні в Бельтау-Курамінському вулканоплутонічному поясі у Східному Узбекистані, п'єзокварцові в Центральному Казахстані, Якутії, Україні, Північному Уралі, алмазні в Якутії та Архангельській області Росії, різноманітні золоторудні України та золото-срібні Камчатки, Курил і Магаданської області, Хабаровського краю і Примор'я тощо.

Накопичення різноманітного ТБГХ матеріалу, розширення об'єктів досліджень, збільшення і поглиблення науково-практичного досвіду дало змогу дослідникам флюїдних включень у мінералах перейти до якісно нових підходів щодо їхнього вивчення, геоло-

гічної і генетичної інтерпретації отриманих даних та новітнього теоретико-прикладного використання. Цьому також сприяла помітно вдосконалена і розширена на той час класична методологія вивчення включень, коли до апробованих методів статичної та динамічної фазометрії (гомогенізації), барометрії за включеннями  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NaCl}$  і так званих киплячих розчинів у різний час долучилися методи мікрохімічного аналізу вмісту водних витяжок із включень, визначення складу флюїдів в індивідуальних включеннях, кріометрії, діагностики вмісту і значення перенаповнених і розшнурованих включень, термовакуумної декрепітації, прецизійних і високоточних ізотопно-геохімічних досліджень, мас-спектрометрії та газової хроматографії, електронної мікроскопії сканувальних мікроаналізаторів тощо. Розпочалося ТБГХ моделювання процесів рудоутворення з часом й у просторі, відбувалася ретроспективна побудова статичних і динамічних площинних та об'ємних моделей родовищ і відповідних рудних формацій та закладали рудноформаційні основи інтерпретації вузлових закономірностей режиму рудоутворення на регіональному рівні. Широко застосовували методи тривимірного ТБГХ картування рудних тіл, родовищ і полів та багатопараметричного моделювання ендегенної ТБГХ зональності, її трендів і градієнтів. Завдяки регіональному і рудноформаційному узагальненню ТБГХ даних поступово відбувся перехід на рівень просторо-часового моделювання природних процесів рудоутворення і прогнозування зруденіння з фізико-хімічних позицій аж до формування сучасної наукової концепції рудноформаційного і металогенічного аналізу територій – ТБГХ моделювання, діагностики і прогнозування рудних формацій.

З іншого боку, на факультеті не залишили осторонь різні методичні аспекти дослідження включень як підгрунтя ефективної реалізації генетично-інтерпретаційних та геолого-прогностичних завдань у разі вивчення родовищ корисних копалин. Ці методики отримували нове теоретичне обґрунтування або ж суттєве доповнення і технологічне вирішення. Ідеться про барометрію за включеннями гомогенного середовища, зокрема, за багатофазовими водно-сольовими включеннями з розчиненням фази галіту чи іншої солі після зникнення газової фази. Для цього необхідно було визначити за температурою розчинення галіту концентрацію розчину для вибору відповідної *PTF*-діаграми, у якій залежно від концентрації нахил ізохор різний. Ю. Ляхов з фізико-хімічного погляду довів, що чим вища сольова концентрація, тим крутоспадніший нахил ізохори діаграми, відповідно, навіть за дуже високої температури, коли концентрація вища, тиск буде нижчим, ніж це уявляли раніше. (Ляхов Ю. Погрешности при определении давления минералообразования по газовой-жидким включениям с галитом, их причины и пути устранения // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1973. Ч. 102. Вып. 4. С. 385–399). Це суттєво збільшило точність визначення тиску за такими включеннями і помітно поглибило теоретичні уявлення про термобаричні процеси рудоутворення на альбітитових, пегматитових, скарнових, грейзенових та деяких інших генетичних класах родовищах, де поширені газово-рідинні багатофазові включення з  $\text{NaCl}$ .

Принципово важливим також було питання про відповідність хімічного складу ВМС складові мінералоутворювального середовища. Припустили, що це мікропроби фізико-хімічно порушених середовищ, які реагували, збіднених компонентами навколишніх мінеральних, у тім числі, рудних, фаз, через це їхня інформаційна цінність у тому, що в них збережені леткі й легкорозчинні сполуки середовища, які створювали його геохімічний фон, регулювали деякі важливі риси хімізму (рН, Eh) і забезпечували масоперенесення металів відповідними комплексними іонними сполуками. У мінеральній формі ці

компоненти не знайдено. Отже, важливим для визначення катіонно-аніонного складу ВМС був метод водної витяжки (ВВ), особливо плідним – варіант “**потрійної ВВ**”, розроблений на геологічному факультеті (Мязь Н., Симків Ж. Методические разработки анализа водных вытяжек // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1975. Ч. 104. Вып. 4. С. 490–498). У ньому розглянуто методи відбору мономінеральних проб і приготування водного екстракту (витяжки), схеми операцій і приладну аналітичну базу для визначення йонів, недоліки, похибки і способи їхнього усунення чи мінімізації впливу, способи зображення результатів і геолого-генетичної інтерпретації. Ця методика мікрохімії водних витяжок забезпечувала матеріалами великий масив ТБГХ досліджень, у тому числі можливості реставрації палеогідрохімічної зональності процесів рудоутворення в термобароградієнтних полях родовищ, відтворення геохімічного типу рудогенного середовища тощо.

Оскільки в разі механічного розкриття включень під час приготування з них водної витяжки леткі сполуки виходили з системи і їх діагностували, то для аналізу мобільної газової фази ВМС застосовували різноваріантні методи газової хроматографії чи мас-спектрометрії. Загалом методично і технологічно вивчення складу газів цими методами було добре апробоване, розкрито способи уникнення вірогідних технологічних похибок і способи підвищення достовірності результатів аналізів завдяки різним способам розкриття включень (механічного, термовакуумного, розчинення взірців), проявам сорбційно-десорбційних властивостей мінералів (оклюзії) чи можливостям генерування в разі їхнього помелу  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$ . Однак у наявних працях зовсім не розглядали ніби очевидні чинники впливу на результати мас-спектрометричного визначення складу газів генетичних властивостей мінералів і особливостей розмаїтих морфогенетичних і морфометричних родин включень, які опосередковано, через ступінь подрібнення, впливають на кількісні співвідношення компонентів газів, а також через значні варіації внутрішнього тиску у вакуолях включень, зокрема з рідким і газоподібним діоксидом вуглецю, що розкриваються першими порівняно з іншими генераціями включень. Часто також аналізували газову фазу включень у послідовних генераціях і зародженням мінералів, частина з яких утворилася метасоматично, коли разом з новоутвореннями зберігаються фрагменти *едукта* з відповідними за розмірами, станом і складом включеннями, що теж суттєво впливає на склад газів. Нарешті, з огляду на просторову еволюцію складу газів однієї порції розчинів, особливо в термобароградієнтних умовах, кількісні співвідношення компонентів газів включень навіть у пробах мінералів однієї генерації, проте відібраних з гіпсометрично різних горизонтів родовищ чи рудних тіл, можуть помітно відрізнятися, через що склад газів включень з поверхні і глибоких горизонтів не корелює. Усі ці генетичні характеристики мінералів і відповідних родин включень та фізико-хімічні особливості агрегатного стану і складу материнського середовища вакуолей як чинники впливу на достовірність отримання результатів аналізів розглянуто в низці дослідно-методичних праць (зокрема, Павлунь Н., Костенко А., Костин В. О факторах, влияющих на результаты валового масс-спектрометрического анализа газовой фазы флюидных включений в минералах // Докл. АН СССР. 1986. Т. 289. № 5. С. 1230–1234). Їхнє коректне врахування в ході проведення аналізів газів включень помітно поліпшило якість визначення та генетичну і просторово-часову інтерпретацію результатів досліджень.

Особливе значення мали також розшуково-прикладні аспекти декрепітаційного методу досліджень флюїдних включень у частині розшуків “сліпих” рудних тіл за ореола-

ми “пропарювання”, які можна закартувати в процесі декрепітаційного знімання, профілювання і каротажу свердловин. Найважливіші особливості будови цих ореолів, їхні параметричні характеристики (розміри, інтенсивність, форма) та інтерпретаційні висновки залежно від просторового розташування (підрудні-надрудні, кутів зустрічі з свердловинами тощо) дуже предметно розглянув і синтезував Ю. Ляхов (Морфометрия околожильных ореолов гидротермального пропаривания по данным декрепитации // Минерал. сб. 1979. Вып. 1. С. 41–50), що стало загальним дороговказом для реалізації декрепітаційних розшуково-оцінних робіт на різних РКК.

Отже, алгоритм вирішення питань генетичного моделювання фізико-хімічних процесів рудоутворення передбачав, що науковці повинні спиратися на ретельно побудовані стереоскопічні термобарично-парагенетичні схеми стадійності і ТБГХ зональності зруденіння з кількісною оцінкою градієнтів і трендів її розвитку та з'ясування фізико-хімічних умов формування продуктивної мінералізації (так званий “метод діагностики продуктивних стадій”) з урахуванням вимог промислових кондицій на відповідну мінеральну сировину і формаційний тип зруденіння. Усе це відбувалося на апробованій методичній базі, до якої, як бачимо, помітно долучилися науковці факультету, детально мінерало-ТБГХ картуванні, об'ємному кількісному моделюванні з використанням ЕОМ (тренд-аналізу), градієнтних розрахунках з дотриманням принципу статистичної однорідності інформаційних масивів, які б мали спільну геологічну основу і зів'язання в часі.

Розгорнуті таким способом ТБГХ дослідження не тільки помітно зачепили і суттєво вдосконалили методологічну і генетико-технологічну базу таких досліджень, а й органічно поєднали проблемні питання геології, металогенії і ТБГХ постмагматичних родовищ корисних копалин, у тім числі й на рудноформаційному рівні. Зокрема, були з'ясовані загальні й специфічні риси ТБГХ процесів формування постмагматичних родовищ молібдену, вольфраму, олова, міді, золота і срібла, цинку, свинцю, сурми і ртуті, флюориту, п'єзооптичного кварцу, визначено *PT*-параметри за включеннями в мінералах ранньодокембрійських метаморфічних утворень УЩ (Сиворонов А., Росихина А. Особенности термобарогеохимических условий высокотемпературного метаморфизма в раннем докембрии // Термодинамический режим метаморфизма. Л.: Наука, 1976. С. 191–196). Доведено наявність пневматолізу під час формування мінералів і родовищ та виявлено подвійну роль газової фази постмагматичних розчинів в ендегенному мінералоутворенні (Лазаренко Е., Лазько Е., Пизнюр А. О пневматолитовых процессах, минералах и месторождениях // Минерал. сб. 1965. № 19. Вып. 4; Ляхов Ю., Лазько Е., Пизнюр А. О двоякой роли газовой фазы постмагматических растворов в эндогенном минералообразовании // Докл. АН СССР. 1965. Т. 164. № 6), переглянуто температурні межі формування родовищ золота малоглибинної формації (370–50 °С), що дало змогу змінити усталені уявлення щодо їхньої епітермальної природи (Ляхов Ю. О прогнозной и вертикальной зональности в пределах БалеЙского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Минералогия, термометрия и барометрия. М., 1968). Описано флюїдний режим рудоутворювальних процесів і фізико-хімічні чинники рудоконцентрації, діагностовано ТБГХ ознаки глибинності перебігу таких процесів щодо синрудної палеоповерхні, особливо для золоторудних формацій, головні риси і чинники ТБГХ зональності рудних полів та фізико-хімічні передумови і ТБГХ ознаки прогнозування, розшуків і оцінки зруденіння. Розкрито принципи, логіку, методологію, технологію генетичного, структурного (просторового), дослідно-методичного і спеціалізованого ТБГХ опробування руд-

них тіл і різних геологічних об'єктів як первинної ланки досліджень у польових умовах. Виконано ТБГХ просторово-часове моделювання рудоутворювальних процесів як основи локального прогнозування: побудовано різноманітні комплексні фізико-хімічні моделі з вирізненням і описом їхніх складових – термометричних, барометричних, агрегатно-густинних (фазово-гомогенізаційних), іонометричних, гідрохімічних, газохімічних, концентраційно-сольових, декрепітаційних – для різних геолого-генетичних типів родовищ та виявлено зміст їхньої геолого-генетичної і прикладної інтерпретації й використання. З'ясовано відповідні фізико-хімічні рудоконтролювальні чинники, виявлено і сформульовано головні та другорядні ТБГХ критерії й ознаки зруденіння, розкрито алгоритми їхнього застосування з позицій багатоетапного (логічного збільшення масштабу) розвитку геологорозвідувального процесу разом з експлуатаційними (видобувними) роботами, коли наявна потреба в оцінюванні вірогідної просторової поведінки концентраційних і структурно-морфологічних рудних стовпів типу бананців.

Дуже цікаву новітню і плідну науково-прикладну ТБГХ-інформацію одержали дослідники геологічного факультету щодо розкриття фізико-хімічної сутності процесів золотонакопичення на так званих об'ємних родовищах, що залягають у теригенних, здебільшого чорносланцевих товщах – вони тривалий час з огляду на специфіку геологічної будови не були об'єктами досліджень у цьому контексті, через що погляди на їхній генезис часто мали дуже специфічний зміст, а це суттєво ускладнювало їхню генетичну класифікацію і формаційну типізацію. Дослідженнями В. Єхиванова багато в чому ліквідовано цю важливу науково-методологічну прогалину (Єхиванов В., Арифупов Ч. Термобарогеохимия золотого оруденения, локализованного в терригенных толщах // Тр. ЦНИГРИ. 1990. Вып. 243).

На підставі великого генетико-статистичного матеріалу доведено, що теоретичним підґрунтям ТБГХ прогнозування, розшуків і оцінки зруденіння є стійкість режиму фізико-хімічних умов утворення продуктивних мінеральних парагенезисів. Достеменно з'ясовано, що вони формуються в доволі вузькому діапазоні зміни ТБГХ параметрів специфічного за хімічним складом та агрегатно-густинним (щільнісним) станом рудоутворювального середовища, що виявляється у фазовому типоморфізмі відповідних родин флюїдних включень практично незалежно від геотектонічних умов і металогенічної спеціалізації рудних районів. Ця обставина засвідчує виразну конвергенцію фізико-хімічних умов і ТБГХ показників розвитку генетично споріднених рудотворних процесів відповідних Au, Au–Ag, Mo–W, Cu–Mo, Pb–Zn, Sb–Hg, флюоритових, п'єзокварцових та інших рудних формацій, що є відображенням своєрідних і специфічних геолого-геохімічних та фізико-хімічних механізмів і форм екстракції рудогенних компонентів з рудоспряжених магматогенних (метаморфогенних) чи інших джерел речовини й енергії, термодинамічної стійкості різних комплексних іонних сполук, міграції елементів у рудолокалізуювальні структури та їхнього руйнування і похідної акумуляції рудної речовини за відповідних змін фізико-хімічного стану рудоутворювального середовища, зокрема, на геолого-геохімічних бар'єрах (тиску і температури, рН і  $\epsilon$ Н, складу і агрегатного стану, гетерогенізації чи ретроградного кипіння тощо).

Наприклад, для Mo–W зруденіння найперспективнішими будуть ділянки, де поширені включення високотемпературних щільних розчинів (400–300 °С) фторидно-хлоридно-калій-натрового складу і високої сольової концентрації з мінералами –“в'язнями” (> 65–26 мас. % NaCl), наявні суттєві флуктуації тиску (> 65 до 50 МПа) і поширені рідинно-газові й газово-рідинні вакуолі, що мають порівняно великі розміри, украй

нерівноважний розподіл і різкогетерогенний стан, а також поширені включення водних розчинів критичної густини. Натомість для золоторудних формацій типові включення CO<sub>2</sub>, що законсервовані при 290–180 °С в умовах інтенсивної гетерогенізації розчинів з різними співвідношеннями фаз, поширені включення дво–однофазового діоксиду вуглецю – CO<sub>2</sub> – з широкими варіаціями густини (для різноглибинних формацій від 1,02 до 0,4–0,1 г/см<sup>3</sup>) та гомогенізацією як у рідку, так і в газову фази. Подібні специфічні ТБГХ критерії та ознаки прояву продуктивного рудогенезу виявлені для родовищ і рудних формацій багатьох інших видів сировини.

Не менш важливою передумовою реалізації проблем прикладної ТБГХ є можливість діагностики та просторової екстраполяції градієнтів і трендів цих параметрів (ТБГХ зональність, яка, як визначено дослідниками факультету, відповідає мінералого-геохімічній, проте, на відміну від неї, виявляється практично на кожному рудному об'єкті, що розширяє евристичні можливості її використання (Лазько Е. О термобарогеохимической зональности // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. 1981. № 1) з визначенням просторового розташування зон, що з фізико-хімічного погляду оптимально сприятливі для розвитку відповідного зруденіння, та екстремальних верхньо- і нижньорудних фізико-хімічних рівнів їхнього виклинування з урахуванням палеотемпературного градієнта  $\Delta T/100$  м та інших просторово-часових змін параметрів (співвідношень комплексів окисних і відновних газів, головних катіонів-аніонів, густини флюїдів тощо) з урахуванням структурно-фаціальних умов рудолокалізації (Лазько Е., Ляхов Ю., Пізнюр А. Термобарогеохимическое моделирование рудных формаций и практика прогнозно-оценочных работ // Сов. геология. 1990. № 6; Лазько Е., Ляхов Ю., Пізнюр А., Павлунь М., Попівняк І. Принципи термобарогеохімічного прогнозування, пошуків та оцінки золоторудних родовищ на території України // Вісник Львів. ун-ту. Сер. геол. 1992. Вип. 1; Лазько Е., Ляхов Ю., Павлунь М., Пізнюр А., Попівняк І. Термобарогеохімія у прикладній геології (пошуки, розвідування та експлуатація родовищ // Мінерал. зб. 1994. Вип. 1).

Для вирішення описаних вище завдань теоретичної, методологічної, аналітичної і прикладної термобарогеохімії на геологічному факультеті 1981 р. створено першу і єдину в колишньому СРСР та в Україні лабораторію прикладної ТБГХ, а її завідувачем став І. Попівняк. Об'єктами польових, експедиційних і камеральних лабораторних робіт були різноманітні родовища у Східному Забайкаллі, Північній Бурятії, Західному Прибайкаллі, Ленській провінції, Східному Саяні, Якутії, Казахстані, Середній Азії, Архангельській області та в Україні (Приазов'я, Кіровоградщина, Донбас, Карпати). Унаслідок цих досліджень, окрім вирішення виробничих проблем, у контексті теоретико-аналітичної, методичної і прикладної ТБГХ сформульовано концепцію особливої ролі так званого каскадного багатоповерхового фракціонування флюїдів у рудогенерувальних системах (ліквіація, дистиляція, розшарування, кипіння), з якими пов'язане формування рудних концентрацій різних елементів, запропоновано помітно удосконалену генетичну класифікацію флюїдних включень, виявлено доцентрово-регресивну ТБГХ зональність у тектонічних блоках амагматичних флюїдодинамічних рудогенерувальних систем і відцентрово-регресивну у власне магматичних блоках. Моделювання фізико-хімічних режимів флюїдних палеосистем, формування зруденіння в комплексі з дослідженнями кооперативної поведінки головних хімічних елементів дало змогу виявити автогенетичну послідовність періодичного сполучення елементів у мінеральні конструкції, у тім числі і в різноманітних родовищах корисних копалин, що мало далекосяжні теоретико-прикладні перспективи.

Теоретико-методологічним підґрунтям і результатом ТБГХ досліджень та отриманих упродовж другої половини ХХ–початку ХХІ ст. науково-концептуальних теоретико-прикладних геолого-генетичних і металогенічних висновків стали захищені в різні періоди кандидатські й докторські дисертації та низка наукових монографій. До них належать кандидатські дисертації Ю. Ляхова “Особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского района в Восточном Забайкалье (по включениям в минералах)” (1967), Ю. Дорошенка “Особенности генезиса флюоритовых месторождений Приаргунья (Восточное Забайкалье)” (1971), С. Івасіва “Особенности генезиса золоторудных месторождений Итако-Могочинской рудной зоны в Восточном Забайкалье (по включениям в минералах)” (1974), І. Попівняка “Термобарогеохимические условия минералообразования, поисково-оценочные критерии и прогнозирование оруденения в Кедровском районе (Забайкалье, зона БАМ)” (1977), М. Павлуня “Особенности генезиса Акчатауского вольфрамового месторождения в Центральном Казахстане (по включениям в минералах)” (1981), М. Головченка “Условия формирования ртутных месторождений (по включениям в минералах)” (1982), Ж. Сімків “Термобарогеохимические исследования закономерностей и пространственно-временной изменчивости состава рудообразующих растворов” (1982), Т. Павлюк “Особенности генезису і термобарогеохімічні критерії золотого зруденіння (на прикладі Барун-Холбинського родовища та рудопроявів Липнязького рудного вузла)” (2004), С. Ціхоня “Фізико-хімічні умови розвитку та зональність гідротермального зруденіння Рахівського золоторудного району (за даними термобарогеохімічних і мінерало-геофізичних досліджень)” (2004), Н. Словотенко “Онтогенез флюорит-барит-кварцових жил Березівського рудного поля” (2007). Значні теоретико-методичні й прикладні узагальнення відображені в 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 флюїодинамічних рудогенеруючих палеосистем та прогнозування пов’язаного з ним зруденіння (на прикладі родовищ золота)” (2002), М. Павлуня “Фізико-хімічні умови і зональність розвитку молібден-вольфрамових і золоторудних формацій (за результатами термобарогеохімічних досліджень)” (2003).

Окремо назвемо дослідження включень розплавів, що розкривають *PT*-особливості магматогенної кристалізації, та так званих розкристалізованих і склуватих включень у вулканічних (ефузивних) породних комплексах, у тому числі в туфах різного складу, які проводили та проволоть І. Бакуменко та Н. Словотенко (Магматогенная кристаллизация по данным изучения включений расплавов / Новосибирск: Наука, 1975. 258 с.; Термометрия расплавных включений у кварці алунітизованих туфів яру Дерекосег (Березівський рудний район) // Мінерал. зб. 2011. № 61. Вип 1–2. С. 146–152).

Дуже оригінальним є також підхід І. Бакуменка до досліджень так званих супутніх, комбінованих і аномальних включень, що пов’язано з вивченням різноманітних розплавних інклюдивів. Це суттєво доповнює наші уявлення про особливості магматичного мінералоутворення, зокрема щодо діагностики агрегатного стану розплаву (гомогенний-гетерогенний) тощо (Бакуменко І. Сопутствующие, комбинированные и аномальные включения, критерии их распознавания и возможности использования // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М., 1982. С. 126–140).

Набутий у різні періоди сучасний досвід ТБГХ вивчення постмагматичних родовищ різних рудних формацій засвідчив, що ТБГХ не тільки розкриває фізико-хімічні закономірності утворення постмагматичних родовищ та формує нові уявлення про їхній генезис, геолого-геохімічні й фізико-хімічні умови та механізми зародження, міграції й акумуляції рудної речовини, а й дає вдумливному геологу нове і дуже ефективне знаряддя прогнозування, розшуків і оцінки зруденіння. З огляду на це та за ініціативою проф. Є. Лазька і за підтримки М. Лавйорова на замовлення Головгеології Мінкопормету колишнього СРСР уже 1972 р. з'явилися для "службового використання" абсолютно новітні "Методические указания по анализу рудообразующих растворов и их применению для прогнозной оценки рудоносных площадей и в практике поисково-разведочных и эксплуатационных работ", написані Є. Лазьком і Ю. Ляховим. Вони були поширені на геологорозвідувальних і гірничих підприємствах цього міністерства і стали першою в світі спробою широкого запровадження ефективних, експресних і порівняно дешевих ТБГХ досліджень для прогнозування, розшуків і оцінки рудних покладів.

Пізніше, 1981 р., у видавництві "Надра" (Москва) колектив кафедри геології корисних копалин у складі Є. Лазька, Ю. Ляхова і А. Пізнюра з широким залученням матеріалів Ю. Дорошенка, М. Павлуна, М. Головченка, І. Попівняка, Н. М'язь, Ж. Сімків, К. Поздєєва, С. Івасіва та інших дослідників опублікував нову фундаментальну монографію "Физико-химические основы прогнозирования постмагматического оруденения (по термобарогеохимическим данным)", де розглянуто теоретичні питання фізико-хімічних умов формування і ТБГХ зональності зруденіння різних рудних формацій, а третя її частина повністю присвячена вирішенню прикладних завдань за допомогою ТБГХ. Ця праця фактично вкотре переконливо засвідчила абсолютний ідейний і науковий пріоритет Львівської наукової школи ТБГХ та її найважливішого напрямку – прикладної термобарогеохімії. Нарешті, видана 1995 р. у Львові монографія "Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски и оценки оруденения)" за редакцією проф. Є. Лазька авторів Ю. Ляхова, М. Павлуна, А. Пізнюра й І. Попівняка була третьою спробою науковців університету впровадити в теорію рудогенезу і в практику геологорозвідувальних робіт методику ТБГХ стосовно золоторудних формацій, хоча відображені в ній теоретико-методологічні і прикладні ТБГХ матеріали мають загальне значення. Зазначимо – і це симптоматично, – що ця праця написана на замовлення керівників Мінгеології колишнього СРСР і ЦНІГРІ (Москва) А. Кривцова і В. Нарсєєва, а це засвідчує повне визнання Львівської наукової школи ТБГХ московською науковою галузевою елітою дуже високого рангу.

Уже за часів незалежності України, 2004 р. в Києві у видавництві Державного науково-дослідного геологорозвідувального інституту вийшла монографія "Геолого-генетична типізація золоторудних родовищ України" (автори О. Бобров, А. Сіворонов, Ю. Ляхов, М. Павлунь, 367 с.), де на підставі матеріалів геолого-мінералогічних і детальних ТБГХ досліджень флюїдних включень у мінералах уперше вирізнено шість природно різних генотипних родовищ золота на УЩ і у фанерозойському об'ямуванні, що належать до плутоногенно-гідротермальних, вулканогенно-гідротермальних та метаморфогенно-гідротермальних утворень. Аргументовано доведено, що за ступенем термостатування палеогідросистем золотоконцентрації, відображенням якого є величина  $\Delta T/100$  м, і змінним  $PT$ -режимом у часі, особливо за співвідношеннями  $\Delta T/\Delta P$  та оцінкою динаміки просторово-часових флуктуацій інтенсивних фізико-хімічних параметрів рудоносних флюїдів, їхнього фазово-компонентного складу й агрегатного стану генотипні



родовища золота України винятково коректно зіставлені з трьома різноглибинними золоторудними формаціями за Н. Петровською; генетична позиція родовищ і глибина їхнього формування тут значно виразніша, оскільки ґрунтується на інструментально-кількісному оцінюванні фізико-хімічних умов утворення за флюїдними включеннями в мінералах. Звідси випливає, що уже на ранніх етапах прогнозу оцінки перспективних золотоносних територій за конкретними ТБГХ параметричними показниками рудоутворювального процесу впевнено можна дешифрувати різноглибинно-формаційний тип золотого зруденіння, визначати його вертикальний розмах і вірогідні масштаби акумуляції золота, рівень еродованості й ступінь збереженості в сучасному денудаційному зрізі – обґрунтовано вирішувати вкрай важливу геолого-економічну проблему як наукове підґрунтя для вибору раціональної методики проведення геологорозвідувальних робіт з підрахунку запасів сировини та їхньої економічної оцінки. Це вкрай необхідно для України, яка почала робити перші реальні кроки щодо створення власної золотодобувної і золотопереробної галузі промисловості й стоїть перед вибором пріоритетності освоєння родовищ золота, найважливіші та наймасштабніші з яких, як випливає з результатів досліджень, поширені в докембрійських структурах УЩ.

Отримані різноманітні ТБГХ матеріали на статистично показовому науково-методичному підґрунті, сформульовані теоретичні постулати та синтезовані уявлення щодо фізико-хімії процесів рудогенезу на різних рудних формаціях і наявна методологія досліджень ВМС у мінералах не могли бути осторонь навчального процесу з підготовки геологів-фахівців. Для цього в різні роки викладачі кафедри геології корисних копалин опублікували низку навчально-методичних, з відповідною якісною оригінальною дидактикою, розробок, курсів лекцій і навчальних посібників з ТБГХ, зокрема, серія курсів лекцій А. Пізнюра “Основы термобарогеохимии”: “Методы термометрии” (1973, 106 с.), “Методы барометрии” (1973, 102 с.), “Исследование состава и концентрации растворов” (1975, 82 с.), “Использование результатов исследований включений в теории рудобразования, практике поисков и разведки месторождений” (1976, 136 с.), “Методы криометрии” (1979, 75 с.), навчальний посібник “Основы термобарогеохимии” (1986, 197 с.).

Багато підготовано методичних рекомендацій для самостійного вивчення дисципліни і проведення лабораторних занять з ТБГХ., а саме: “Методические указания к лабораторным занятиям по методам барометрии” (М. Павлунь, 1986, 27 с.), “Методические указания к самостоятельному изучению курса “Основы термобарогеохимии” (Ю. Ляхов, 1989, 43 с.), “Методические указания по спецкурсу “Методы изучения месторождений и прикладная термобарогеохимия” (М. Головченко, В. Куземко, Ю. Ляхов, М. Павлунь, 1987, 20 с.), “Методические указания по изучению термобарогеохимии для студентов-заочников” (М. Павлунь, 1989, 12 с.), “Методичні вказівки до курсу “Мінералого-термобарогеохімічні методи досліджень (методи визначення тиску по включеннях гетерогенного мінералоутворювального середовища у мінералах)” (Ю. Ляхов, М. Павлунь, А. Пізнюр, 1991, 25 с.), “Методичні вказівки до курсу “Основы термобарогеохимии: визначення ерозійного зрізу та вертикального розмаху зруденіння” (Ю. Ляхов, М. Павлунь, А. Пізнюр, 1992, 25 с.), “Методичні вказівки до курсу “Мінералого-термобарогеохімічні методи пошуків (термобарогеохімічні рудоконтролюючі фактори та пошуково-оцінні методи)” (Ю. Ляхов, М. Павлунь, А. Пізнюр, 1992, 22 с.), “Методичні вказівки до вивчення курсу “Термобарогеохимия” (Ю. Ляхов, М. Павлунь, 2003, 41 с.), “Методичні вказівки до лабораторних занять зі спецкурсу “Методи вивчення родовищ і прикладна термобарогеохимия” (Ю. Ляхов, М. Павлунь, 2007, 23 с.), “Збірник змістових

модулів і графічних тестових завдань з теоретичної і прикладної геології” (А. Лисак, Ю. Ляхов, М. Павлунь, А. Сіворонов, 2009, 75 с.).

Як бачимо, для родовищ більшості найважливіших постмагматичних і деяких метаморфічних рудних формацій головно вже завершено розробку теорії рудогенезу і пов’язаної з нею проблеми комплексу ТБГХ розшуково-оцінних критеріїв та ознак зруденіння, виконано достатньо глибоку геолого-генетичну інтерпретацію ТБГХ матеріалів з урахуванням геолого-структурної ситуації родовищ і відповідних формацій. Окрім науковців геологічного факультету, його випускники, здебільшого в інститутах НАНУ, теж досягли помітних успіхів у вивченні флюїдних включень у мінералах і захистили докторські дисертації у Львові (І. Наумко, 2005, Інститут геології і геохімії горючих корисних копалин), Києві (Д. Возняк, 2003; І. Кульчицька, 2009, Інститут геохімії, мінералогії і рудоутворення НАНУ). За кордоном та в Україні до вирішення проблем петро-рудогенезу і штучного вирощування кристалів мінералів методами ТБГХ долучилися і досягли значних успіхів Е. Реддер, Е. Інгерсон (США), Ф. Сміт (Канада), Г. Дейша і М. Рубо (Франція), С. Савул та В. Померлеану (Румунія), С. Такеноучі (Японія), А. Деба (Індія), Г. Вілкінс (Австралія), Хі-Жілі (Китай), Г. Наумов і В. Наумов, Д. Хітаров, В. Труфанов, Ф. Рейф, І. Кігай, В. Гончаров, Ф. Мельников, Н. Сущевська, Т. Базарова та інші (Росія), М. Братусь, З. Ковалишин, Б. Жовтуля, І. Зінчук, В. Ковалевич (Україна).

Отже, наукова школа ТБГХ проф. М. Єрмакова і прикладної ТБГХ проф. Є. Лазька, сформовані на геологічному факультеті, розвиваються, а їхні послідовники добре пам’ятають, що саме вони здійснили теоретичний прорив і розробили наукове обґрунтування нового напрямку геологічної науки в період так званого агностицизму, сформулювали головну змістовну методологію вивчення ВМС та блискуче виявили її теоретичні і прикладні наслідки. Водночас вирішення різноманітних і складних питань ТБГХ процесів магмо-рудогенезу, петрології та седиментології все ще потребує подальших глибоких наукових досліджень і різнобічної аргументації, хоча й вирішеного не мало. Як влучно і лаконічно сказав Г. Сорбі, включення, які ми вивчаємо, дуже малі, проте висновки, яких ми доходимо, великі. Саме в цьому професійно переконали світову наукову геологічну громадськість професори М. Єрмаков і Є. Лазько, а їхні учні й послідовники на геологічному факультеті й у всьому світі продовжують торувати новітню дорогу ТБГХ досліджень флюїдних включень у мінералах. За словами акад. О. Ферсмана, значення дослідження виявляється часто не стільки в тому, що воно через гущавину лісу прорубує зовсім іншу дорогу, а й у тому, що воно робить цю просіку проїжджою і змушує всіх рухатися новим шляхом. У цьому полягає, зокрема, світовий науковий поступ сучасних ТБГХ досліджень флюїдних включень у мінералах.

*Стаття: надійшла до редакції 21.05.2012*

*доопрацьована 01.10.2012*

*прийнята до друку 10.10.2012*

**HISTORY OF THE THERMOBAROGEOCHEMISTRY  
INVESTIGATION ON THE GEOLOGICAL DEPARTMENT:  
FORMATION STAGE AND THEORETICAL-APPLIED  
CONSEQUENCE**

**M. Pavlun'**

*Ivan Franko National University of Lviv,  
geological faculty, department of geology of minerals,  
Hrushevskij Street, 4, 79005, Lviv, Ukraine  
e-mail: zaggeol@franko.lviv.ua*

Chronological and logic stages of the formation and development of the thermobarogeochemical investigation of the fluid inclusions in minerals are considered.

*Key words:* thermobarogeochemistry, fluid inclusions, post-magmatic structures, hydrothermal solutions.

**ИСТОРИЯ ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НА ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ: ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ  
И ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНЫЕ СЛЕДСТВИЯ**

**Н. Павлунь**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,  
геологический факультет, кафедра геологии полезных ископаемых,  
улица Грушевского, 4, 79005, Львов, Украина  
e-mail: zaggeol@franko.lviv.ua*

Рассмотрено хронологические и логические этапы становления и развития термобарогеохимических исследований флюидных включений в минералах.

*Ключевые слова:* термобарогеохимия, флюидные включения, постмагматические формации, гидротермальные растворы.