

УДК 548.4:550.4:552:551.14

Ігор НАУМКО, Мирослав ПАВЛЮК, Андрій ПОБЕРЕЖСЬКИЙ

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів,
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

**ГЕОХІМІЯ І ТЕРМОБАРОМЕТРІЯ
МІНЕРАЛОУТВОРЮВАЛЬНИХ ФЛЮЇДІВ
ТА ТЕРМОБАРОГЕОХІМІЯ ЕВАПОРИТІВ –
ВСЕСВІТНЬО ВІДОМІ НАУКОВІ ШКОЛИ**

Узагальнено фундаментальні і прикладні здобутки в галузях геохімії і термобарометрії мінералоутворювальних флюїдів та термобарогеохімії евапоритів, як основах відповідних всесвітньо відомих наукових термобарогеохімічних шкіл, створених в Інституті геології і геохімії горючих копалин НАН України професорами В. А. Калюжним та О. Й. Петриченком на засадах творчого розвитку ідей попередників за підтримки академіків Є. К. Лазаренка, В. С. Соболева, Г. Н. Доленка. Акцентовано на внескові школі у геологічну науку, який визначається сформованою базою знань про геохімічні і термобаричні параметри флюїдних середовищ мінералорудонафтидогенезу у літосфері Землі (за включеннями у мінералах). У цьому контексті стисло обговорено, з огляду на колосальний масив наявних даних, склад, фізико-хімічні властивості, генезу флюїдів верхньої мантії і земної кори та показано, що перебіг процесів петро-, мінерало-, рудо-, нафтидогенезу та формування родовищ вуглеводневих, рудних і нерудних корисних копалин визначається особливостями дегазації (дефлюїдизації) Землі та її впливом на перетворення вуглецевистих сполук під час теригенної, органогенної, хемогенної седиментації і на процеси діагенезу осадів різного походження. Отримані дані з відтворення еволюції флюїдного режиму породних комплексів сприяють вирішенню фундаментальної проблеми геохімії вуглецю і водню (вуглецевисто-водневої речовини) та глибинних (ендогенних) флюїдних потоків у літосфері Землі як вагомого підґрунтя мінералофлюїдологічної моделі планети. Вони відіграли визначальну роль в обґрунтуванні в Інституті на засадах абіогенно-біогенного дуалізму універсальних підходів до процесів синтезу і генези природних вуглеводнів у вигляді нової фундаментальної парадигми нафтогазової геології і геохімії – полігенез природних вуглеводнів у надрах Землі, що збільшує потенціал нафтогазоресурсності перспективних регіонів, зокрема України. Це створює передумови для ідентифікації перспективних на вуглеводневі, рудні і нерудні копалини породних комплексів шляхом застосування отриманих фундаментальних термобарогеохімічних даних у прогнозно-пошуковій, геологорозвідувальній та експлуатаційній практиці на засадах розроблення нових нетрадиційних геотехнологій оцінки і пошуків вуглеводневої та мінеральної сировини.

Ключові слова: включення у мінералах, геохімія, термобарометрія, флюїди, флюїдні середовища, мінералорудонафтидогенез, літосфера Землі.

© Ігор Наумко, Мирослав Павлюк, Андрій Побережський, 2020
ISSN 0869-0774. Геологія і геохімія горючих копалин. 2020. № 1 (182)

Вступ. Незважаючи на те, що про включення у мінералах було відомо з часу природодослідників-енциклопедистів (Ермаков, 1950; Смит, 1956 та ін.), учення про мінералоутворювальні середовища (флюїди) (термобарогеохімія (Ермаков, Долгов, 1979) – мінералофлюїдологія (Калюжний, 1982) – fluid inclusions (Roedder, 1984)) розпочало свій відлік фактично від фундаментальної праці Г. К. Сорбі (Sorby, 1858). Саме він, видатний англійський учений, до певної міри вперше науково осмислив цей феномен, наголосивши: «Я доказав, что нет обязательной связи между размерами явления и его значением и что, хотя образцы, описанные мною, малы, выводы, которые следует сделать из наблюдений над ними, велики» (цит. за (Смит, 1956, с. 16). В Україні в сучасному вигляді основні постулати науки про включення в мінералах були сформульовані на геологічному факультеті Львівського державного університету імені Івана Франка наприкінці 40-х – на початку 50-х років ХХ століття професором М. П. Єрмаковим (Матковський та ін., 2017), завдяки якому вона й отримала загальноприйнятту нині назву «термобарогеохімія».

Аналіз попередніх досліджень. Відтоді термобарогеохімія як нова галузь геологічних знань (Ляхов та ін., 2013), що має особливий об'єкт дослідження – мікрровключення флюїдів у кристалах мінералів та особливі завдання – розкрити фізико-хімічну природу, просторово-часову послідовність прояву і мінливість параметричних характеристик флюїдів на основі динамічного підходу до перебігу процесів мінералогенезу в різних геофлюїдинамічних ситуаціях, стрімко розвивалася та зробила значний поступ в Україні. Етапи і періоди та пріоритетні завдання термобарогеохімічних-мінералофлюїдологічних досліджень і внесок українських учених у світову геологічну науку схарактеризовано численними науковими розвідками (Калюжний, 1983, 1988; Наумко та ін., 2000; Наумко, Калюжний, 2001; Возняк, 2005; Матковський та ін., 2017, 2018а, 2018б; Возняк та ін., 2019 та ін.).

Однак у них ще недостатньо відображено фундаментальні напрацювання в галузях геохімії і термобарометрії мінералоутворювальних флюїдів та термобарогеохімії евапоритів, як основах відповідних всесвітньо відомих наукових шкіл, створених в Інституті геології і геохімії горючих копалин (ІГГК) НАН України професорами В. А. Калюжним та О. Й. Петриченком на засадах творчого розвитку (Калюжний, 1960; Петриченко, 1973; Калюжний, 1982 та ін.) ідей попередників та за підтримки академіків Є. К. Лазаренка, В. С. Соболева, Г. Н. Доленка. Підготоване узагальнення певною мірою є першою спробою оцінити вагомість внеску анонсованих нижче фундаментальних наукових новацій у геологічну науку, зокрема в геохімію флюїдів мінералорудонафтидоутворювального середовища.

Фактичний матеріал. Мінеральні комплекси земної кори (Лазаренко, 1979) розташовані як на території України та колишнього Радянського Союзу, так і в різних частинах земної кулі.

Методологія досліджень – комплекс кристалогенних і методико-теоретичних методів учення про мінералоутворювальні середовища (флюїди) (Ермаков, 1950, 1972; Калюжний, 1960; Петриченко, 1973; Ермаков, Долгов, 1979; Калюжний, 1982; Roedder, 1984 та ін.).

Отримані результати, їхнє обговорення. Комплексними прецизійними дослідженнями *геохімії і термобарометрії мінералоутворювальних флюїдів,*

як найпотужнішого розділу сучасної генетичної мінералогії (Павлишин та ін., 2018), виконаними лауреатом Державної премії УРСР В. А. Калюжним, нагородженим Міжнародною золотою медаллю ім. Г. Сорбі як свідченням світового рівня розробок, та його учнями і колегами в рамках основного наукового напрямку відділу геохімії глибинних флюїдів (сучасна назва) – «Геохімія і термобарометрія палеофлюїдів середовища мінералоутворення та осадо-нагромадження в літосфері провінцій горючих копалин України (за флюїдними включеннями у мінералах)» (Калюжний, 1960, 1971; Калюжный, 1982, 1983, 1988; Зинчук и др., 1984; Ковалишин, Братусь, 1984; Винар та ін., 1987; Калюжный и др., 1987; Давиденко, 1992; Братусь та ін., 1994; Bratus' et al., 1994; Naumko et al., 1999, 2017; Наумко та ін., 2000, 2004, 2007, 2019; Наумко, Калюжний, 2001; Наумко, 2006, 2011, 2017, 2019 та ін.):

- ідентифіковано склад, фізико-хімічні властивості, походження флюїдів верхньої мантії і земної кори та показано, що перебіг процесів петро-, мінерало-, рудо- і нафтидогенезу та формування родовищ корисних копалин визначається особливостями дегазації (дефлюїдизації) глибинних геосфер Землі;

- з'ясовано умови постмагматичного мінералогенезу і відтворено процеси ендогенного рудоутворення в родовищах розмаїтих генетичних типів у магматичних та осадових породно-рудних комплексах;

- відтворено геохімію флюїдів як показника процесів флюїдопереносу речовини і механізмів заліковування мігрувальних тріщин в осадових товщах нафтогазоносних областей, газовугільних та сланцевогазових басейнів і металогенічних провінцій;

- логічним підсумком вивчення флюїдного режиму процесів мінералогенезу породно-рудних комплексів стало створення моделі еволюції глибинних флюїдів (за включеннями у мінералах) (Наумко, 2006), удосконалений варіант якої (Наумко та ін., 2015, 2016) наведено на рис. 1. У її рамках зреалізовано нову теорію синтезу і генезису природних вуглеводнів: абіогенно-біогенний дуалізм (Наумко, 2006; Сворень, Наумко, 2006) та нову модель мінералонафтидогенезу (Наумко, 2006), що стало підставою для обґрунтування нової принципової схеми глибинного мінерало- і нафтидогенезу (синтезу вуглеводнів та мінералів) у системі «магма–літосфера» у межах розломних зон літосфери Землі в середовищі абіогенного високотермобарного глибинного флюїду. Ці фундаментальні результати дали змогу за включеннями флюїдів у мінералах підтвердити, що лише сполуки CO_2 і H_2O можуть бути донаторами хімічних елементів Н та С для синтезу вуглеводнів, як стверджується в праці (Чекалюк, 1980). Вони разом із коровими складовими в умовах абіогенного високотермобарного глибинного флюїду розкладалися на атомарні карбон, гідроген і C_nH_m -радикали, при хімічній взаємодії яких здійснювався синтез складної вуглеводневої суміші типу газу, нафти, бітумів абіогенно-біогенного походження (Наумко, 2006), які при субвертикальній міграції глибинними розломними зонами та іншими порушеннями в земній корі за наявності сприятливих умов заповнювали пастки із формуванням покладів нафти і газу.

У піонерських роботах О. Й. Петриченка та його учнів і колег із *термобарогеохімії евапоритів* як нового наукового напрямку в галузі знань про евапорити в рамках основного наукового напрямку відділу геохімії осадових

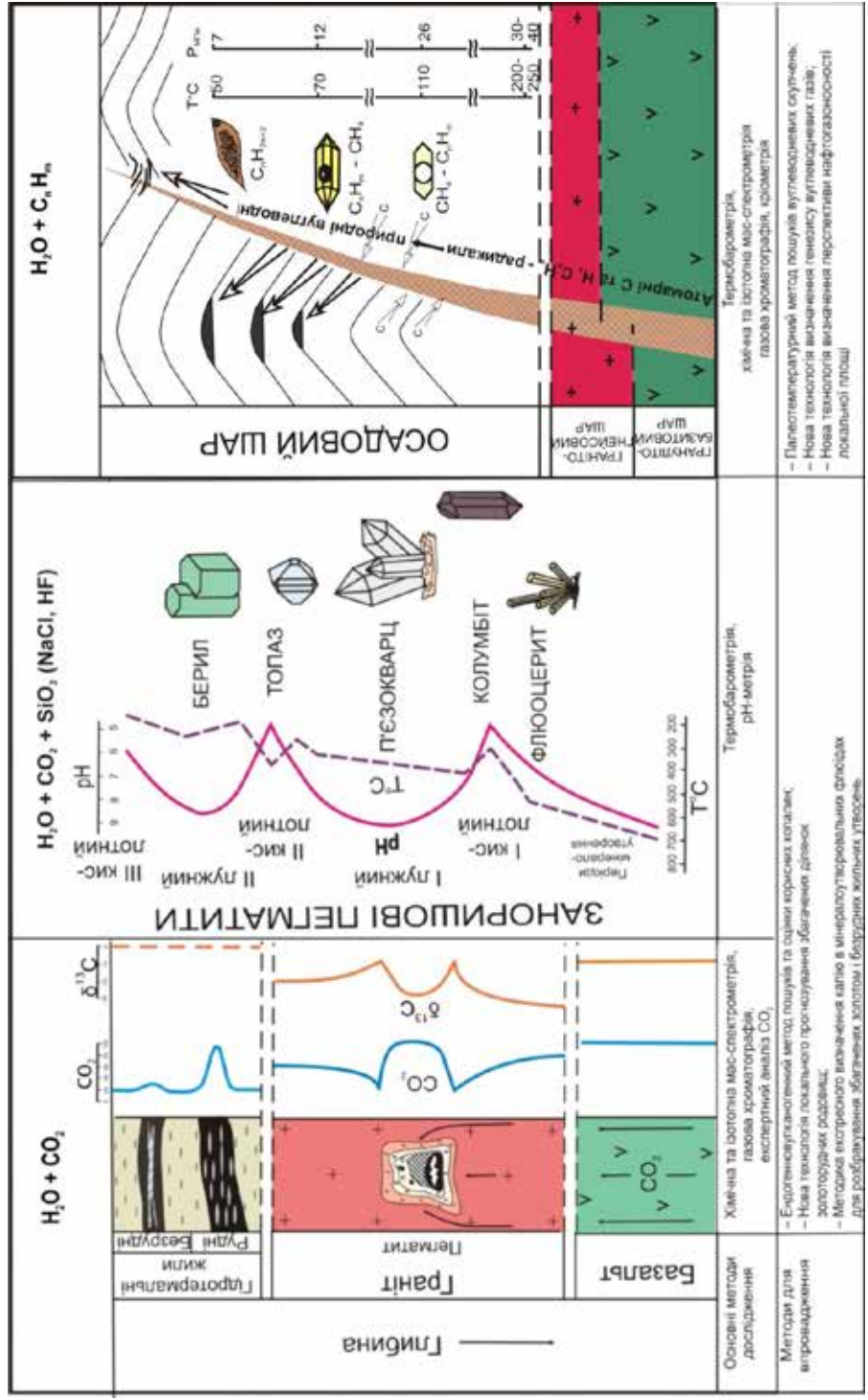


Рис. 1. Модель еволюції глибинних флюїдів (за включеннями в мінералах) (Наумко, 2006) з удосконаленнями (Наумко та ін., 2015, 2016 та ін.)

товщ нафтогазоносних формацій (сучасна назва) – «Вивчення геохімічних особливостей осадових товщ нафтогазоносних провінцій України» (Петриченко, 1973, 1977, 1988, 1989; Ковалевич, 1978, 1990; Kovalevich et al., 1998; Побережський, Ковалевич, 2001; Петриченко та ін., 2006; Ковалевич та ін., 2012; Вовнюк та ін., 2017 та ін.):

- відтворено процеси екзогенного мінералоутворення, передусім галогенезу, пов'язані з особливостями соленагромадження і перекристалізації солей в евапоритових басейнах та еволюцією хімічного складу води Світового океану;

- з'ясовано умови розвитку процесів давнього седиментогенезу осадових утворень та зміни хімічного складу вод Світового океану у фанерозої;

- показано, що вікові зміни хімічного складу океанічної води корелюються з віковим розподілом збагачених органічною речовиною відкладів, а відповідно й розподілом розвіданих запасів нафти і газу та нерудної сировини;

- запропоновано узагальнену модель хімічної еволюції ропи морських евапоритових басейнів та океанічної води у фанерозої і неопротерозої (за даними про склад розсолів-солянок включень у седиментаційному галіті вікових етапів: кайнозой, тріас–перм та кембрій–докембрій) (Петриченко та ін., 2006) (рис. 2), деталізовану в працях (Ковалевич та ін., 2012; Вовнюк та ін., 2017 та ін.). Отримані фундаментальні результати з геології і геохімії евапоритових утворень та генетично пов'язаних з ними родовищ вуглеводнів, кам'яної солі, калійних руд, самородної сірки, целестину, гіпсу в Україні сприяли з'ясуванню природи парагенного зв'язку евапоритових і нафтогазоносних формацій та склали основу хіміко-палеоокеанографічних індикаторів прогнозу покладів вуглеводнів й інших корисних копалин у відкладах континентальних окраїн.

На засадах стислого аналізу та обговорення колосального масиву наведених даних за включеннями флюїдів у мінералах відтворено еволюцію флюїдного режиму процесів мінералорудонафтидогенезу породних комплексів у контексті впливу дегазації (дефлюїдизації) Землі (Шестопалов и др., 2018) на перетворення вуглецевистих сполук під час теригенної, органогенної, хемогенної седиментації і на процеси діагенезу осадів різного походження. Отримані дані сприяли вирішенню фундаментальної проблеми геохімії вуглецю та водню (вуглецевисто-водневої речовини) і глибинних (ендогенних) флюїдних потоків у літосфері Землі, як вагомого підґрунтя мінералофлюїдологічної моделі планети, та їхньої поведінки при формуванні родовищ вуглеводневих, рудних і нерудних корисних копалин.

З'ясовано, що сполуки вуглецю (метан, його гомологи, метанонафтові суміші, інші вуглеводні, діоксид та оксид вуглецю) належать до переважальних компонентів мінералонафтидоутворювального середовища, зокрема, з одного боку, як індикатор процесів синтезу-генезису, міграції і локалізації вуглеводневих флюїдів та основна складова нафтових, газових, метановугільних і сланцевогазових родовищ, з іншого – як регулятор окисно-відновного потенціалу процесів мінералогенезу, переносник та концентратор речовини в рудних покладах. При цьому за співвідношенням окислених і відновлених форм вуглецю у складі флюїдів верхньої мантії, услід за (Кадик, 1986), на підставі узагальнення й аналізу даних вивчення флюїдних включень у мінералах

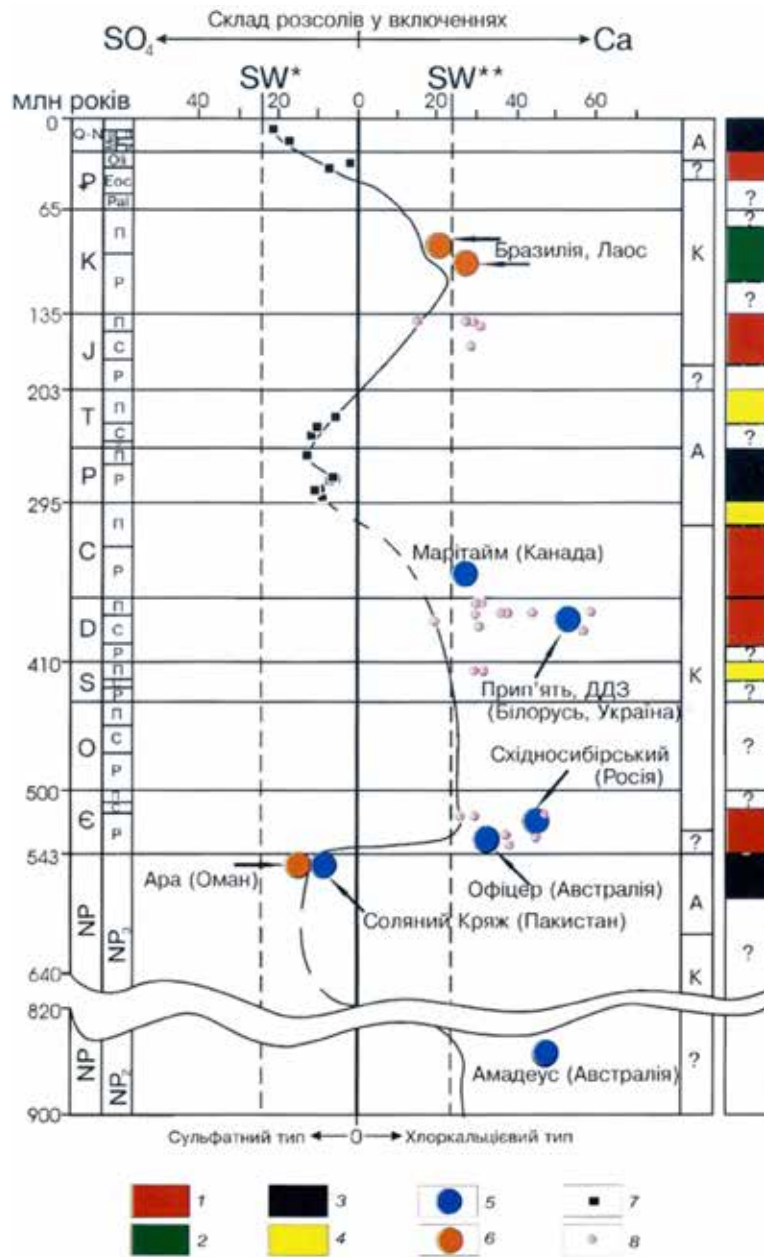


Рис. 2. Узагальнена модель хімічної еволюції ропи морських евапоритових басейнів та океанічної води у фанерозої і неопротерозої (Петриченко та ін., 2006), деталізована в працях (Ковалевич та ін., 2012; Вовнюк та ін., 2017 та ін.). Умовні позначення: за працею (Петриченко та ін., 2006).

У колонках праворуч позначено етапи існування «кальцитових» (К) та «арагонітових» (А) морів та хімічний склад калійних солей; SW* – сучасна морська вода, згущена до осадження галіту; SW** – прогнозована морська вода (хлоркальцієвого типу), згущена до осадження галіту. Калійні солі: 1 – хлоридного типу з домішкою сульфатів, 2 – хлоридно-кальцієвого типу, 3 – сульфатного типу, 4 – хлоридного типу (без кальцієвих мінералів); середні значення вмісту йонів, за результатами дослідження різних авторів: 5 – нові дані для окремих басейнів (Петриченко та ін., 2006), 6 – нові літературні дані інших авторів, 7 – нові дані для окремих етапів (кайнозою, тріасу–пермі) (Петриченко та ін., 2006), 8 – раніше опубліковані дані для першої моделі (Kovalevich et al., 1998)

завідомо глибинного походження виділено вуглеводне-(метано-)водну і діоксидвуглецево-водну гілки глибинної дегазації та сфери функціонування абіогенного високотермобарного глибинного флюїду: вуглеводне(метано)вмісного чи діоксидвуглецевовмісного (Наумко, 2006; Наумко та ін., 2008), і такі самі дві гілки флюїдних еманаций виявлено (Наумко та ін., 2007) в осадово-вулканогенній оболонці земної кори. Водночас аналіз даних М. Добрецова, В. Ларіна, Ф. Летнікова, О. Маракушева, І. Рябчикова, М. Семененка та інших дослідників свідчить, що саме водень у складі відновлених газів, маючи виняткову дифузійну здатність і високу теплоємність порівняно з іншими елементами, забезпечує механізм «пропалювання» мантиї з процесами плавлення і формування магматичних систем та виділення великої кількості енергії при землетрусах і разом із вуглецем у складі С–Н-фацій контролює скупчення вуглеводнів.

Як бачимо, термобарогеохімія сприяє вирішенню важливих завдань геологічної науки, таких як вивчення геохімії продуктів глибинної дегазації та флюїдного режиму літосфери (тектоносфери), визначення джерел флюїдів і закономірностей їхньої геохімічної (мінералогенічної) спеціалізації в земній корі, відтворення динаміки мінералогенезу та умов просторово-часової локалізації корисних копалин, з'ясування походження природних вуглеводнів, сформульованих у (Наумко, 2006). Ці завдання невпинно уточнюються, тому і вдосконалюються підходи до їхнього вирішення, насамперед, із пошуковою метою в контексті розроблення нових нетрадиційних геотехнологій оцінки та пошуків вуглеводневої і мінеральної сировини, основаних на дослідженнях флюїдних включень у мінералах (Наумко, Сворень, 2014).

Аналіз новаторських ідей, які впливають із наукового напрямку «термобарометрія і геохімія газів прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій» (Братусь та ін., 1994), сприяв інтенсивному розробленню теорій нафтогазоутворення, зокрема, з'ясуванню (Павлюк, 2014, 2017) відмінностей процесів нафтидогенезу в різних флюїдодинамічних ситуаціях, які проходять за розмаїтих термодинамічних параметрів (T , P) та складу нафтидоутворювальних систем, однак у підсумку формуватиметься гама природних вуглеводнів – складових нафти і газу. Це відіграло визначальну роль в обґрунтуванні науковцями Інституту на засадах абіогенно-біогенного дуалізму (Наумко, Сворень, 2003; Павлюк і др., 2003; Наумко, 2006; Сворень, Наумко, 2006; Наумко та ін., 2008; Naumko, Svogen, 2010) універсальних підходів до процесів синтезу і генезису природних вуглеводнів у вигляді нової фундаментальної парадигми нафтогазової геології і геохімії – полігенез природних вуглеводнів у надрах Землі (Павлюк, 2017), що збільшує потенціал нафтогазоресурсності перспективних регіонів, зокрема України.

У цьому контексті концепція «полігенезу нафти і газу» як сукупність наукових уявлень та поглядів на походження природних вуглеводнів передбачає можливість формувати родовища нафти і газу, інших вуглеводнів за рахунок як абіогенних, так і біогенних джерел, тобто відповідного утворення (перетворення) вуглецевистих речовин за глибинних умов чи в осадово-вулканогенній оболонці. Її об'єднувальною ідеєю – глибинні флюїдні потоки як потужне джерело енергії і речовини в літосфері Землі (абіогенний високотермобарний

глибинний флюїд (Наумко та ін., 2008) – високоентальпійний (як похідний надглибинних (зовнішнє ядро – шар D^{''}) флюїдів) флюїд (Лукин, Пиковский, 2004)), а першочергове завдання – ідентифікація кількісного співвідношення складників мантийного та органогенного-седиментогенного генезису в процесі нафтидогенезу в надрах планети (Павлюк, 2017). Зауважимо, що отримані останнім часом дані термодинамічного моделювання характеру змін концентрації вуглеводневих газів у рівновазі з керованом II типу свідчать (Хоха та ін., 2019) про можливість існування «нафтового» вікна в слабко прогрітих зонах земної кори в межах глибин 2–4 км, зокрема за умови контакту із високоенергетичним флюїдним потоком.

Виконані дослідження геохімії і термобарометрії мінералоутворювальних флюїдів та термобарогеохімії евапоритів (за включеннями у мінералах) нерозривно пов'язані з основними науковими напрямками Інституту і доповнюють їх своєю комплексністю та прецизійністю. На сучасному етапі фундаментальні новації в галузі термобарогеохімії–мінералофлюїдології склали підставу для обґрунтування такого цілеспрямованого напрямку наукових досліджень ІГГК НАН України – наукового напрямку Відділення наук про Землю НАН України як «Геохімія, термобарометрія флюїдів мінералоутворюючого середовища» (Постанова Президії НАН України від 30.03.2011 № 117). Його підгрунтя було закладене ще академіком Григорієм Доленком, багатолітнім директором ІГГК НАН України, який вбачав у включеннях у мінералах законсервоване середовище мінералоутворення (Доленко, 1986), і це відіграло значущу роль у залученні мінералофлюїдології до з'ясування фундаментальних проблем та прикладних завдань нафтогазової геології і геохімії (Наумко, 2017).

Фундаментальність і життєздатність термобарогеохімічних-мінералофлюїдологічних ідей підтвердили захисти численних докторських та кандидатських дисертацій із проблеми (Наумко, 2011). У галузі мінералофлюїдології тут працювали і працюють: доктори наук Володимир Калюжний, Олег Петриченко, Микола Давиденко, Володимир Ковалевич, Ігор Наумко; кандидати наук Сергій Бекеша, Мирослав Братусь, Оксана Винар, Максим Вітик, Олександр Вовк, Сергій Вовнюк, Анатолій Галамай, Георгій Гігашвілі, Софія Гринів, Богдан Долішній, Ігор Дудок, Богдан Жовтуля, Галина Занкович, Богдан Заціха, Ігор Зінчук, Зігмунд Йориш, Зенон Ковалишин, Олександр Матвієнко, Наталія Нестерович (Бацевич), Емма Платонова, Андрій Побережський, Йосип Сворень, Дарія Сидор, Олена Хмелевська, Василина Шайдецька, інші знані вчені. Путівку в життя отримали майбутні доктори наук Дмитро Возняк, Юрій Ляхов, Богдан Пісоцький, кандидати наук Павло Вовк, Олена Лазаренко, Станіслав Литвинюк, Тетяна Павлюк та ін.

Значного поштовху розвитку науки надали проведені в ІГГК НАН України спеціалізовані наради з геохімії і термобарометрії мінералоутворювальних флюїдів: Республіканська – «Углерод и его соединения в эндогенных процессах минералообразования (по данным изучения флюидных включений в минералах)» (1975) та VII Всесоюзна – «Термобарометрия и геохимия рудообразующих флюидов (по включениям в минералах)» (1985), і численні конференції з термобарогеохімії евапоритів за участі провідних спеціалістів у царині термобарогеохімії – працівників наукових установ, закладів вищої освіти

і виробничих організацій. Цьому сприяла й успішна участь українських учених у роботі XIII (Warszawa, 1993), XIV (Nancy, 1997) і XV (Potsdam, 1999) European Current Research On Fluid Inclusions (ECROFI) та створення Українського товариства дослідників флюїдних включень (1993 р.). Відтак ці ідеї було визнано й підтримано на велелюдних зібраннях учених як колишнього всесоюзного і загальнодержавного, так і світового рівня, що знайшло своє відображення у вагомих підсумках вивчення включень у мінералах у колишньому СРСР і в Україні, зокрема у Львові, де фундаментальна наука про включення у мінералах зародилася (Ермаков, 1950) та отримала значний розвиток (Калюжний, 1960; Петриченко, 1973; Калюжный, 1982; Наумко, 2011; Матковський та ін., 2017, 2018а, 2018б та ін.).

Проте останнім часом, уже в незалежній Україні, як це не прикро констатувати, прогрес учення про мінералонафтидоутворювальні середовища (флюїди) дещо призупинився та стримується низкою тих самих причин, що і в інших галузях фундаментальної науки: дефіцитом фінансування, кадровим вакуумом, природним відходом науковців, нестачею молоді, відсутністю прецизійного наукового устаткування. Утім, попри певні труднощі, не згасає надія на їхню мінімізацію, натомість є сподівання щодо підтримки державою науки та освіти загалом і наук про Землю зокрема. Адже лише державницький підхід до науки та освіти, їхній симбіоз в українському суспільстві стабілізує наукові дослідження, зокрема й у галузі геохімії і термобарометрії флюїдів мінералонафтидоутворювального середовища, покличе до лав науки та освіти нових дослідників-ентузіастів.

Висновки.

1. Учення про мінералоутворювальні середовища (флюїди) (термобаро-геохімія – мінералофлюїдологія – fluid inclusions), зародившись як нова галузь геологічних знань у вищому закладі освіти, отримало стрімкий розвиток у Національній академії наук у рамках Українського товариства дослідників флюїдних включень.

2. Наявні фундаментальні та прикладні здобутки в галузях геохімії і термобарометрії мінералоутворювальних флюїдів та термобарогеохімії евапоритів, як основах відповідних всесвітньо відомих наукових термобарогеохімічних шкіл, створених в ІГГК НАН України, нерозривно пов'язані з основними науковими напрямками Інституту і є вагомим внеском у генетичну мінералогію, учення про корисні (горючі, рудні, нерудні) копалини, геохімію флюїдів мінералорудонафтидоутворювального середовища.

3. Комплексні прецизійні дослідження флюїдних включень у мінералах – унікальне джерело кількісної генетичної інформації про процеси мінералорудонафтидогенезу в розмаїтих геофлюїдодинамічних ситуаціях, основа об'єктивного підходу до встановлення геохімічних і термобаричних параметрів флюїдних середовищ літосфери Землі – визначальної передумови відтворення еволюції флюїдного режиму і створення мінералофлюїдологічної моделі планети.

4. Показано, що врахування геохімічних і термобаричних властивостей мігрувальних флюїдів, відтворених за включеннями у мінералах, сприяє ідентифікації перспективних на вуглеводневі, рудні і нерудні копалини породних комплексів шляхом застосування отриманих фундаментальних даних

у прогнозно-пошуковій, геологорозвідувальній та експлуатаційній практиці на засадах розробки нових нетрадиційних геотехнологій оцінки і пошуків вуглеводневої та мінеральної сировини.

- Братусь, М. Д., Давиденко, М. М., Зінчук, І. М., Калюжний, В. А., Матвієнко, О. Д., Наумко, І. М., Пірожик, Н. Е., Редько, Л. Р., Сворень, Й. М. (1994). *Флюїдний режим мінералоутворення в літосфері (в зв'язку з прогнозуванням корисних копалин)*. Київ: Наукова думка.
- Винар, О. М., Калюжний, В. А., Наумко, І. М., Матвієнко, О. Д. (1987). *Мінералоутворюючі флюїди постмагматичних утворень гранітоїдів Українського щита*. Київ: Наукова думка.
- Вовнюк, С., Галамай, А., Гринів, С., Дудок, І., Максимук, С., Побережський, А., Сидор, Д., Яремчук, Я. (2017). Геохімічні критерії зв'язку евапоритових і осадових формацій фанерозою та покладів вуглеводнів (на прикладі нафтогазоносних басейнів Центральної і Східної Європи). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4 (172–173), 56–75.
- Возняк, Д. К. (2005). Розвиток в Україні вчення про флюїдні включення в мінералах. *Записки Українського мінералогічного товариства*, 2, 34–43.
- Возняк, Д. К., Кульчицька, Г. О., Черниш, Д. С., Бельський, В. М. (2019). Наука про флюїдні включення у мінералах в Україні (до 100-річчя НАН України). *Мінералогічний журнал*, 41 (1), 23–34.
- Давиденко, Н. М. (1992). *Источники золотоносных россыпей криолитозоны северо-востока Азии (по флюидным включениям в минералах)*. Киев: Наукова думка.
- Доленко, Г. Н. (1986). *Происхождение нефти и газа и нефтегазоаккумуляция в земной коре*. Киев: Наукова думка.
- Ермаков, Н. П. (1950). *Исследования минералообразующих растворов (температуры и агрегатное состояние)*. Харьков: Издательство Харьковского университета.
- Ермаков, Н. П. (1972). *Геохимические системы включений в минералах (включения минералообразующих сред – источник генетической информации)*. Москва: Недра.
- Ермаков, Н. П., Долгов, Ю. А. (1979). *Термобарогеохимия*. Москва: Недра.
- Зінчук, І. Н., Калюжний, В. А., Щирица, А. С. (1984). *Флюїдний режим мінералообразования Центрального Донбасса*. Київ: Наукова думка.
- Кадик, А. А. (1986). Фракционирование летучих компонентов при плавлении верхней мантии. *Геология и геофизика*, 7, 70–73.
- Калюжний, В. А. (1960). *Методи дослідження багатозональних включень у мінералах*. Київ: Видавництво АН УРСР.
- Калюжний, В. А. (Ред.). (1971). *Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів заноришевого типу України (рідкі включення, термобарометрія, геохімія)*. Київ: Наукова думка.
- Калюжний, В. А. (1982). *Основы учения о минералообразующих флюидах*. Киев: Наукова думка.
- Калюжний, В. А. (1983). Проблемы исследования эндогенных (минералообразующих) флюидов по включениям в минералах. *Геология и геохимия горючих ископаемых*, 2, 73–78.
- Калюжний, В. А. (1988). Основные достижения и перспективы развития учения о минералообразующих флюидах (вопросы термобарометрии и геохимии рудообразующих флюидов). В *Геохимия и термобарометрия эндогенных флюидов* (с. 3–10). Киев: Наукова думка.
- Калюжний, В. А., Вынар, О. Н., Зінчук, І. Н., Ковалишин, З. И., Матвиенко, А. Д. (1987). Геохимическая специализация эндогенных минералообразующих флюидов и поисковые критерии на полезные ископаемые. *Минералогический сборник Львовского университета*, 41 (2), 54–58.

- Ковалевич, В. М. (1978). *Фізико-хімічні умови формування Стебницького калійного местородження*. Київ: Наукова думка.
- Ковалевич, В. М. (1990). *Галогенез і хімічна еволюція океана в фанерозое*. Київ: Наукова думка.
- Ковалевич, В., Дудок, І., Побережський, А., Вовнюк, С., Галамай, А., Гринів, С., Литвинюк, С., Сидор, Д., Яремчук, Я. (2012). Хіміко-палеоокеанографічні індикатори прогнозу покладів вуглеводнів та корисних копалин у відкладах континентальних окраїн (за результатами мінералого-геохімічних досліджень сульфатно-карбонатних і соленосних товщ фанерозою Центральної і Східної Європи). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4 (160–161), 66–81.
- Ковалишин, З. И., Братусь, М. Д. (1984). *Флюїдний режим гідротермальних процесів Закарпаття*. Київ: Наукова думка.
- Лазаренко, Е. К. (1979). *Опыт генетической классификации минералов*. Київ: Наукова думка.
- Лукин, А. Е., Пиковский, Ю. И. (2004). О роли глубинных и сверхглубинных флюидов в нефтеобразовании. *Геологический журнал*, 2, 21–33.
- Ляхов, Ю., Матковський, О., Павлунь, М., Сіворонов, А. (2013). Професор Микола Порфірович Єрмаков – теоретик і засновник нової галузі геологічних знань – термобарогеохімії (до 100-річчя від дня народження). *Мінералогічний збірник*, 63 (2), 4–13.
- Матковський, О., Наумко, І., Павлунь, М. (2017). Термобарогеохімічна школа професора Миколи Єрмакова та її внесок у розвиток генетичної мінералогії й учення про родовища корисних копалин. *Мінералогічний збірник*, 67 (1), 3–37.
- Матковський, О., Наумко, І., Павлунь, М. (2018а). Етапи та періоди розвитку термобарогеохімічних досліджень в Україні. *Мінералогічний збірник*, 68 (1), 129–134.
- Матковський, О. І., Наумко, І. М., Павлунь, М. М. (2018б). Термобарогеохімія в Україні. В *Геологія і корисні копалини України* (с. 142–145). Київ: ІГМР НАН України.
- Наумко, І. М. (2006). *Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів)*. (Автореф. дис. д-ра геол. наук). Львів.
- Наумко, І. (2011). Мінералофлюїдологія в Інституті геології і геохімії горючих копалин НАН України. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2 (154–155), 114–115.
- Наумко, І. (2017). Внесок академіка Григорія Назаровича Доленка у розвиток термобарогеохімії–мінералофлюїдології в Інституті геології і геохімії горючих копалин. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2 (170–171), 120–121.
- Наумко, І. (2019). Про літофлюїдотермодинамічну систему в геології і геохімії. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2 (179), 28–36.
- Наумко, І. М., Бекеша, С. М., Сворень, Й. М. (2008). Флюїди глибинних горизонтів літосфери: зв'язок з родовищами нафти і газу у земній корі (за даними вивчення включень у мінералах глибинного походження). *Доповіді НАН України*, 8, 117–120.
- Наумко, І., Братусь, М., Дудок, І., Калюжний, В., Ковалишин, З., Сахно, Б., Сворень, Й., Телепко, Л. (2004). Флюїдний режим катагенно-гідротермального процесу періоду формування жильної, прожилкової і прожилково-вкрапленої мінералізації в осадових товщах. В В. В. Колодій (Ред.), *Карпатська нафтогазоносна провінція* (с. 308–345). Львів; Київ: Український видавничий центр.
- Наумко, І., Братусь, М., Зінчук, І., Сворень, Й., Бацевич, Н., Вовк, О., Занкович, Г., Редько, Л., Сахно, Б., Белецька, Ю., Дручок, Л., Матвішин, З., Телепко, Л., Бондар, Р., Бринський, Т., Зубик, М., Сава, Н., Степанюк, В. (2019). Леткі сполуки флюїдних включень і закритих пор порід як важливий показник флюїдонасиченості надр (на прикладі породно-рудних комплексів України). В *Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища* (с. 134–136). Львів: Растр-7.

- Наумко, І. М., Калюжний, В. А. (2001). Підсумки та перспективи досліджень термобарометрії і геохімії палеофлюїдів літосфери (за включеннями у мінералах). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2, 162–175.
- Наумко, І., Калюжний, В., Братусь, М., Зінчук, І., Ковалишин, З., Матвієнко, О., Редько, Л., Сворень, Й. (2000). Учення про мінералотворні флюїди: пріоритетні завдання розвитку на сучасному етапі. *Мінералогічний збірник*, 50 (2), 22–30.
- Наумко, І., Калюжний, В., Сворень, Й., Зінчук, І., Бекеша, С., Редько, Л., Сахно, Б., Дручок, Л., Телепко, Л., Белецька, Ю., Матвіїшин, З., Сава, Н., Бондар, Р., Степанюк, В. (2007). Флюїди постседиментогенних процесів в осадових та осадово-вулканогенних верствах південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи і прилеглих геоструктур (за включеннями у мінералах). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 4, 63–94.
- Наумко, І. М., Павлюк, М. І., Сворень, Й. М., Зубик, М. І. (2015). Метан газувугільних родовищ – потужне додаткове джерело вуглеводнів в Україні. *Вісник НАН України*, 6, 43–54.
- Наумко, І. М., Павлюк, М. І., Сворень, Й. М., Зубик, М. І. (2016). Гази вугільних родовищ: нове вирішення проблеми синтезу–генезису метану. *Доповіді НАН України*, 3, 61–68. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2016.03.061>
- Наумко, І. М., Сворень, Й. М. (2003). О важности глубинного высокотемпературного флюида в создании условий для формирования месторождений природных углеводородов в земной коре. В *Новые идеи в науках о Земле: Материалы VI Международной конференции* (Москва, 8–12 апреля 2003 г.) (Т. 1, с. 249). Москва.
- Наумко, І., Сворень, Й. (2014). Нові технології пошуків корисних копалин, основані на дослідженнях флюїдних включень у мінералах. В *Актуальные проблемы поисковой и экологической геохимии: Сборник тезисов Международной научной конференции* (Київ, 1–2 июля 2014 г.) (с. 23–25). Київ: Інтерсервіс.
- Павлишин, В. І., Бондаренко, С. М., Брик, О. Б., Возняк, Д. К., Ільченко, К. О., Калініченко, А. М., Квасниця, В. М., Кульчицька, Г. О., Лукашко, Т. М., Наумко, І. М., Семененко, В. П., Таран, М. М., Таращан, А. М., Хоменко, В. М., Черниш, Д. С. (2018). Мінералогія у Національній академії наук України (до 100-річчя НАН України). *Мінералогічний журнал*, 40 (3), 3–22. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.03.003>
- Павлюк, М. І. (2014). *Геодинамічна еволюція та нафтогазоносність Азово-Чорноморського і Баренцевоморського периконтинентальних шельфів*. Львів: ПРОМАН.
- Павлюк, М. І. (2017). Геотектонічна еволюція і нафтогазоносний потенціал України (стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 5 липня 2017 р.). *Вісник НАН України*, 9, 11–21.
- Павлюк, М. І., Варичев, С. А., Ризун, Б. П. (2003). Новые представления о генезисе нефти и газа и формировании нефтегазоносных провинций. В *Генезис нефти и газа* (с. 441–442). Москва: ГЕОС.
- Петриченко, О. Й. (1973). *Методи дослідження включень у мінералах галогенних порід*. Київ: Наукова думка.
- Петриченко, О. І. (1977). *Атлас микровключений в минералах галогенных пород*. Київ: Наукова думка.
- Петриченко, О. І. (1988). *Физико-химические условия осадкообразования в древних солеродных бассейнах*. Київ: Наукова думка.
- Петриченко, О. І. (1989). *Этигенез эвапоритов*. Київ: Наукова думка.
- Петриченко, О., Ковалевич, В., Побережський, А., Вовнюк, С., Галамай, А., Дудок, І., Гринів, С., Хмелевська, О., Сидор, Д., Яремчук, Я., Олійович, О., Литвинюк, С. (2006). Вікові зміни хімічного складу океанічної води та їхній вплив на формування галогенних і бітумінозних відкладів. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4, 97–118.

- Побережський, А. В., Ковалевич, В. М. (2001). Хімічний склад морської води в кайнозойі (за результатами дослідження включень у седиментаційному галіті). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2, 90–109.
- Сворень, Й. М., Наумко, І. М. (2006). Нова теорія синтезу і генезису природних вуглеводнів: абіогенно-біогенний дуалізм. *Доповіді НАН України*, 2, 111–116.
- Смит, Ф. Г. (1956). *Геологическая термометрия по включениям в минералах*. Москва: Издательство иностранной литературы.
- Хоха, Ю., Яковенко, М., Любчак, О. (2019). Термодинаміка трансформації керогену II типу. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3 (180), 25–40.
- Чекалюк, Э. Б. (1980). Проблема генезиса нефти с позиций геотермодинамики. В *Теоретические вопросы нефтегазовой геологии* (с. 13–20). Киев: Наукова думка.
- Шестопапов, В. М., Лукин, А. Е., Згонник, В. А., Макаренко, А. Н., Ларин, Н. В., Богуславский, А. С. (2018). *Очерки дегазации Земли*. Киев.
- Bratus', M. D., Davidenko, M. M., Zinchuk, I. M., Kalyuzhnyi, V. A., Matvienko, O. D., Naumko, I. M., Pirozhik, H. E., Red'ko, L. R., & Svoren', Yo. M. (1994). Fluid regime in mineral formation in lithosphere (in relation to prognosis in prospecting for economic deposits), *Fluid inclusion research: Proceedings of COFFI, USA*, 27, 173–174.
- Kovalevich, V. M., Peryt, T. M., & Petrichenko, O. I. (1998). Secular variation in seawater chemistry during the Phanerozoic as indicated by brine inclusions in halite. *Journal of Geology*, 106, 695–712.
- Naumko, I. M., Kovalyshyn, Z. I., Svoren', J. M., Sakhno, B. E., & Telepko, L. F. (1999). Towards forming conditions of veinlet mineralization in sedimentary oil- and gas-bearing layers of Carpathian region (obtained by data of fluid inclusions research). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3 (108), 83–91.
- Naumko, I. M., Kurovets', I. M., Zubyk, M. I., Batsevyeh, N. V., Sakhno, B. E., & Chepusenko, P. S. (2017). Hydrocarbon compounds and plausible mechanism of gas generation in “shale” gas prospective Silurian deposits of Lviv Paleozoic depression. *Geodynamics*, 1 (22), 26–41.
- Naumko, I., & Svoren', Yo. (2010). Abiogenic-biogenic bases of the genesis and synthesis of natural hydrocarbons in the Earth's lithosphere (by fluid inclusions research). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74 (11, Suppl. 1), A747.
- Roedder, E. (1984). *Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy* (Vol. 12). Virginia: Mineralogical Society of America.
- Sorby, H. C. (1858). On the Microscopic, Structure of Crystals, Indicating the Origin of Minerals and Rocks. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 14 (1), 453–500. <https://jgs.lyellcollection.org/content/14/1-2/453>

Стаття надійшла:
10.01.2020

Ihor NAUMKO, Myroslav PAVLYUK, Andriy POBEREZHSKYI

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals
of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv,
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

**GEOCHEMISTRY AND THERMOBAROMETRY
OF MINERAL-FORMING FLUIDS AND
THERMOBAROGEOCHEMISTRY OF EVAPORITES –
WORLD-FAMOUS SCIENTIFIC SCHOOLS**

Fundamental and applied achievements in the fields of geochemistry and thermobarometry of mineral-forming fluids and thermobarogeochemistry of evaporites are summarized as the basis of the corresponding world-famous scientific thermobarogeochemical schools established by professors V. A. Kalyuzhny and O. Yo. Petrychenko at the Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the Academy of Sciences of Ukraine on the basis of creative development of ideas of predecessors with the support of academicians Ye. K. Lazarenko, V. S. Sobolyev, H. N. Dolenko. Emphasis is placed on the contribution of schools to geological science, which is determined by the formed knowledge base on geochemical and thermobaric parameters of fluid environments of mineral-ore-naphthidogenesis in the Earth's lithosphere (according to data of fluid inclusions research). In this context, in view of the enormous array of available data, the composition, physico-chemical properties, genesis of fluids of the upper mantle and crust are briefly discussed and it is shown that the course of processes of petro-, mineral-, ore-, naphthidogenesis and formation fields of hydrocarbon, ore and non-ore minerals is determined by the peculiarities of degassing (defluidization) of the Earth and its influence on the conversion of carbon compounds during terrigenous, organogenic, hemogenic sedimentation and on the processes of diagenesis of sediments of various origins. The obtained data on the reproduction of the evolution of the fluid regime of rock complexes contribute to solving the fundamental problem of geochemistry of carbon and hydrogen (hydrocarbon-hydrogen matter) and deep (endogenous) fluid flows in the Earth's lithosphere as an important basis for mineralofluidological model of the planet. They played a decisive role in substantiating at the Institute on the basis of abiogenic-biogenic dualism universal approaches to the processes of synthesis and genesis of natural hydrocarbons in the form of a new fundamental paradigm of oil and gas geology and geochemistry, the polygenesis of natural hydrocarbons in the Earth's bowels, which increases the potential of oil and gas resources of promising regions, including Ukraine. This creates the preconditions for the identification of promising rock complexes for hydrocarbon, ore and non-ore minerals by applying the obtained fundamental thermobarogeochemical data in forecasting, exploration and operational practice on the basis of developing of new non-traditional geotechnologies for assessment and exploration of hydrocarbons and minerals.

Keywords: fluid inclusions, geochemistry, thermobarometry, fluids, fluid media, mineral-ore-naphthidogenesis, Earth's lithosphere.