УДК 548.4:549:550:553.3/.9:551.1 DOI: https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322553

Термобарогеохімічна модель еволюції глибинних флюїдів у літосфері Землі

І.М. Наумко, 2025

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна

Створено термобарогеохімічну модель еволюції глибинних флюїдів у літосфері (тектоносфері) Землі, основні постулати якої обґрунтовано даними термобарогеохімії — фундаментальної науки про включення флюїдів у мінералах як природно збережені релікти флюїдного мінералорудонафтидоутворювального середовища, визначальність яких випливає з беззаперечного факту їхньої оклюзії мікровключеннями у кристалах та збереженості від часу захоплення донині. Аналіз отриманих результатів засвідчив реальну можливість використання включень для оцінювання флюїдонасиченості надр та прогнозування рудоносності і вуглеводненасиченості перспективних структур. Доповнення оригінальними даними еволюційної моделі наявних геолого-геофізичних і мінералого-геохімічних моделей складе підґрунтя термобарогеохімічної моделі Землі.

Ключові слова: флюїд, включення, мінерал, термобарогеохімія, модель, літосфера.

Вступ. Сучасні геолого-геофізичні і мінералого-геохімічні моделі Землі всебічно характеризують загальні закономірності будови земної кори і верхньої мантії як у планетарному, так і регіональному масштабах. У новітніх моделях планети, однак, ще неповною мірою враховано вплив процесів мінералорудонафтидогенезу в глибинних геосферах, перебіг яких не може бути однозначно з'ясований без вивчення включень флюїдів у мінералах як предмету досліджень термобарогеохімії — нової всесвітньо відомої галузі геологічних знань [Ермаков, Долгов, 1979; Калюжный, 1982; Roedder, 1984]. Це й зумовило потребу аналізу даних колосальної бази знань про типоморфні особливості флюїдних включень у мінералах, відтворення за якими геохімічних і термобаричних параметрів флюїдних мінералорудонафтидоутворювальних середовищ — потоків дало змогу створити термобарогеохімічну модель еволюції глибинних флюїдів у літосфері (тектоносфері) Землі у рамках єдиного геолого-геохімічного процесу тектоно-магмоседиментометаморфорудонафтоутворення (за І.І. Чебаненком).

Фактичний матеріал. Авторські і літературні матеріали дослідження флюїдних включень у мінералах розмаїтого похо-

Citation: Naumko, I.M. (2025). Thermobarogeochemical model of deep fluid's evolution in the Earth's lithosphere. *Geofizychnyi Zhurnal*, *47*(2), 280—284. https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322553.

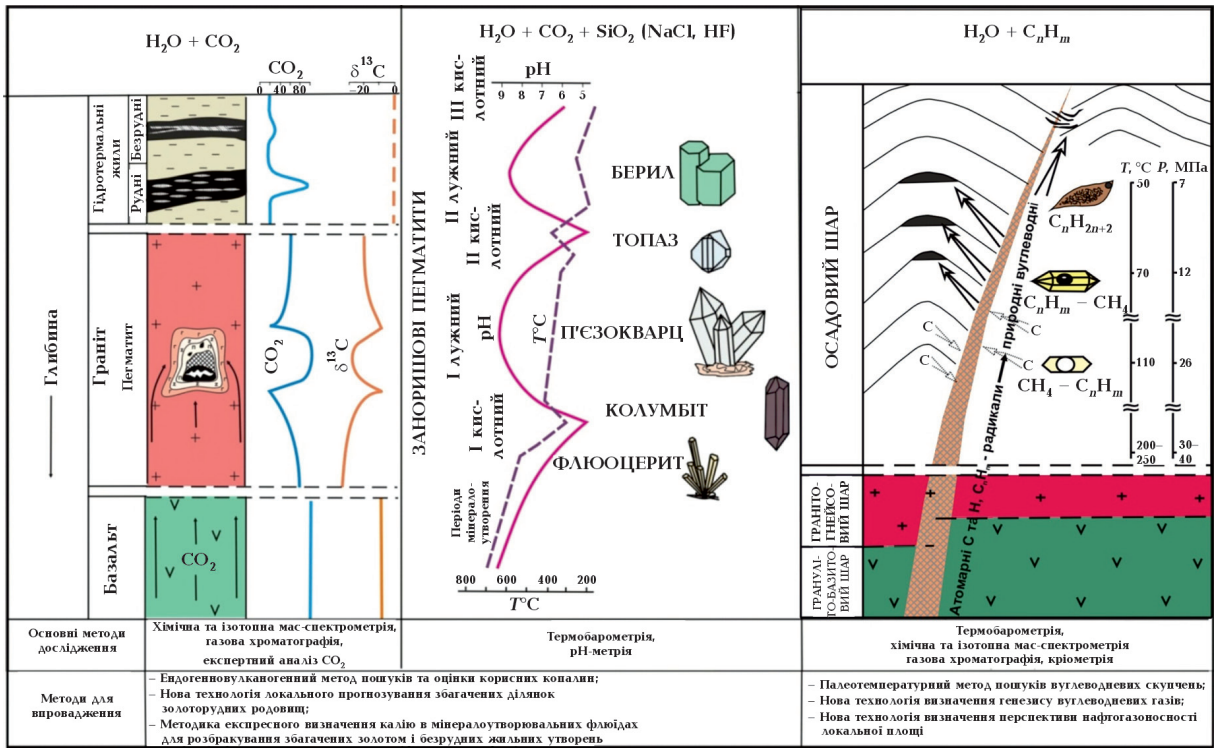
Publisher S. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

дження в геологічних утвореннях як України, так і в межах колишнього Радянського Союзу, а також у світовому масштабі.

Методологія досліджень. Комплекс кристалогенних і методичних засобів термобарогеохімії як учення про мінералоутворювальні середовища (флюїди).

Результати досліджень та їх обговорення. Створено термобарогеохімічну модель глибинного мінералорудонафтидогенезу — модель еволюції глибинних флюїдів (за включеннями у мінералах) [Наумко, 2006, 2020] і показано шляхи її вдосконалення у фундаментальному плані [Наумко та ін., 2020; Матковський та ін., 2021 та ін.] як підґрунтя термобарогеохімічної моделі Землі. Це обґрунтовано узагальненням та аналізом авторських і літературних даних, отриманих на засадах типоморфізму флюїдних включень у мінералах [Павлишин та ін., 2021].

Глибинні парагенезиси. Типоморфною ознакою включень флюїдів у мінералах мантійного (субмантійного) походження є діоксид вуглецю і вуглеводні (метан, його гомологи, метаново-нафтові суміші тощо) [Наумко, 2006, 2020]. За обгрунтуванням джерел первинних сполук ядра (гідриди, карбіди, ціаніди, оксиди чи силікати) перевагу надаємо [Наумко, 2015] енергоємній гідридно-карбідній моделі М.П. Семененка, за якою зароджені у зовнішньому ядрі при розпаді гідридів і карбідів металів первинні H_2, C_nH_m, NH_3-флюїди пронизують мантію, окиснюючись і розчиняючись. Власне водень з винятковою дифузійною здатністю і високою теплоємністю забезпечує механізм її «пропалювання», виділення потужної енергії, контроль у складі С–Н-фацій скупчень вуглеводнів. За відношеннями H_2/H_2O і CO/CO_2 у двох групах включень мантійної природи: $H_2O–N_2–CO–CH_4–C_2H_2–C_2H_6–C_3H_8$ і $CO_2–N_2–CO–CH_4–C_2H_2–C_2H_6–C_3H_8$ у діамантах визначають різницю мантійних і корових флюїдів. У шкурках загартування толеїтових базальтів серединно-океанічних хребтів CO_2 субмантійних джерел (з $\delta^{13}C$=–6,1±0,5 ‰) і вода переважають над N_2, CO, CH_4, H_2. У первинних включеннях у піроксені і олівіні лужних базальтоїдів тектонічно активних поясів також домінує CO_2 глибинної генези. Водночас виявлення впливу флюїдів, збагачених вуглеводнями (за включеннями у мінералах діамантовмісних асоціацій), на



низи літосфери за умов термодинамічної стабільності діаманту показує, що C-O-H-флюїд чи складніший, який містить розчинені лужні або лужноземельні карбонати, виконуватиме роль і джерела вуглеводнів, і збагаченого ними середовища кристалізації глибинних парагенезисів.

Пегматогенні парагенезиси. Типоморфними для гранітних пегматитів у породах різного складу є багатофазові включення з мінералами-в'язнями, головно хлоридами і фторидами, і, отже, висока загальна концентрація флюїдів у зоні мінералогенезу, що досягала 58—60 % (за масою) [Наумко, 2006]. Зміна типів флюїдних включень з переходом від магматогенного до пегматогенного класів дала змогу визначити межі магматичних, ультраметаморфічних і постмагматичних формувань та своєрідність відповідних флюїдних систем. Існування магматичного етапу пегматитів Українського щита (УЩ) підтверджується наявністю розплавних включень у кварці з графічної зони, що гомогенізуються за температури 750—660 °С — безтопазові і 660—620 °С — топазоносні пегматити. Кислотність—лужність флюїдів визначалася співвідношеннями CO_2, фтору і лугів, що особливо відображають включення у топазі і берилі — надійних типоморфних мінералах. Виміряні значення температури засвідчують її зниження від 600 до 180—200 °С і тиску — від 30—40 до 23—25 МПа. Тиск флюїду досягає 470 МПа у флюїдних включеннях за температури їх захоплення і 490 МПа у розплавних включеннях за температури солідуса; нижні межі — 20—30 МПа, аж до 23—25 МПа. Ці значення відповідають геологічним даним і добре збігаються з виділеними *PT*-зонами кристалізації пегматитів різних формацій, зокрема камерних пегматитів УЩ з п'єзокварцом, топазом, берилом.

Рудогенні парагенезиси. Для метаморфогенно-гідротермальних і гідротермально-метасоматичних родовищ типоморфними є складні багатофазові включення з видимою фазою рідкого діоксиду вуглецю і, природно, перевагою CO_2 серед летких компонентів продуктивних парагенезисів. Закономірну періодичність агрегатного стану і фазового складу, термобаричних і геохімічних параметрів, ізотопних характеристик флюїдів визначено для рідкіснометалевих і золоторудних та флюоритових проявів УЩ, золото-поліметалевих і ртутних родовищ Донбасу і Закарпаття [Наумко, 2006; Матковський та ін., 2021]. Водночас значну роль вуглеводнів, насамперед CH_4, виявлено для родовищ золота серед метаморфічних товщ типу чорносланцевих (Мурунтау), родовищ і рудопроявів Рахівського району Закарпаття, а також Чукотки і Магаданської області. Родовища клинцівського типу формувалися в умовах лужного метасоматозу з гідрокарбонатних калій-натрієвих розчинів: Клинцівське — за температури 450—430—150—90 °С, тиску 140—90 МПа, концентрації 1,0—5,0 і до 10 % (за масою, NaCl-екв.), Петроострівське — 470—280 °С, 180—160 МПа, 17,0—7,1 % (рідкіснометалева мінералізація), 350—230 °С, 150—115 МПа, 7,6—2,6 % (халькофільна — з золотом). Золотопроявами супроводжувалася сульфідна мінералізація кварцово-жильних утворень пізньопротерозойської зони тектономагматичної активізації в УЩ. Асоціативну диференціацію різних сполук вуглецю, зокрема кореляцію ртутного зруденіння з нафтогазовими проявами, простежено на Закарпатті. Рудні парагенезиси родовищ Донбасу формувалися за еволюції флюїдів від високотемпературних водно-діоксидвуглецевих, які просторово відокремлені від зон прояву метано-(вуглеводне)-водних флюїдів Північної зони дрібної складчастості, до низькотемпературних водних.

Вуглеводневмісні парагенезиси. Типоморфними для жильної, прожилкової і прожилково-вкрапленої мінералізації гідротермально-метасоматичного і катагенного походження в осадових шарах нафтогазоносних областей і газовугільних басейнів, сформованої в температурному інтервалі в області 200 °С що відповідає оптимальним умовам збереженості вуглеводневих сполук нафти і газу в осадовій оболонці земної кори, незалежно від їхнього походження, є включення вуглеводнів

й, відповідно, метанова (вуглеводнева) спеціалізація палеофлюїдів та відновна спрямованість процесів. З'ясовано подібність й успадкованість складу флюїдних включень у прожилково-вкрапленій мінералізації як природному феномену літосфери Землі та одному із визначальних показників процесів і механізмів флюїдоперенесення вуглеводневої та мінеральної речовини і продукту заліковування міграційних тріщин [Наумко, 2006] і летких сполук у природних газах і газів, розчинених у пластових водах родовищ. Локально в околі покладів вуглеводнів виявлено термобаричні і геохімічні ореоли та характерну вертикальну і латеральну зональність, визначено послідовну зміну параметрів мігрувального вуглеводневмісного флюїду, як приклад, на південно-західному схилі Українських Карпат — від метано-водного до нафтово-метано-водного і від 210—225 °С і 80—100 МПа до 230—240 °С і 300 МПа та у межах Львівського прогину — від 250—200 до 110—60 °С і від 30—40 до 12—7 МПа.

У фундаментальному плані отримані результати чітко фіксують прояв потужних дефлюїдизаційних процесів у межах глибинних геосфер Землі з інтенсифікацією у земній корі. Залежно від співвідношення окиснених і відновлених сполук виділено діоксидвуглецево-водну і вуглеводне-(метано-)-водну гілки глибинної дегазації, якими й визначається геохімічна спеціалізація мінералоутворювальних флюїдів щодо рудо- чи нафтидогенезу та зв'язаність з ними рудопроявів поліметалів і золота, з одного боку, та деяких генетичних типів золоторудної мінералізації і скупчень вуглеводнів — з іншого. У рамках еволюційної моделі стверджено, що лише такі сполуки, як CO_2 і H_2O, можуть бути донаторами хімічних елементів H і C для синтезу вуглеводнів. Вони разом з коровими складовими в умовах глибинного високотермобаричного абіогенного флюїду розкладалися на атомарні Карбон, Гідроген і C_nH_m-радикали, які за хімічної взаємодії синтезували вуглеводні абіогенно-біогенного походження (газ, нафта, бітуми тощо) [Наумко, 2006, 2020], що заповнювали пастки з формуванням покладів нафти і газу.

Висновки. За матеріалами аналізу даних колосальної бази знань про геохімічні і термобаричні параметри флюїдних мінералорудонафтидоутворювальних середовищ-потоків створено термобарогеохімічну модель еволюції глибинних флюїдів у літосфері (тектоносфері) Землі, засадничі постулати якої доповнюють наявні геолого-геофізичні і мінералого-геохімічні моделі планети. Це у комплексі утворить підґрунтя для розробки термобарогеохімічної моделі Землі у розвиток геохімічної киснево-водневої (гідридно-карбідної) (М.П. Семененко) і мінералогічної (Є.К. Лазаренко) моделей Землі.

Список літератури

Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. *Термобарогеохимия*. Москва: Недра, 1979, 271 с.

Калюжный В.А. *Основы учения о минералообразующих флюидах*. Киев: Наук. думка, 1982, 240 с.

Матковський О., Наумко І., Павлунь М., Сливко Є. *Термобарогеохімія в Україні*. Львів: Простір-М, 2021, 282 с.

Наумко І.М. Глибинні флюїди Землі (за киснево-водневою моделлю М. П. Семененка). *Геохронологія та рудоносність докембрію та фанерозою (до 110 річниці від дня народження академіка АН УРСР Семененка Миколи Пантелеймоновича): збірник тез доповідей наукової конференції з міжнародною участю (Київ, 17—18 листопада 2015 р.).* Київ, 2015, С. 20—21.

Наумко І.М. Мінералофлюїдологія та синтез і генезис природних вуглеводнів у надрах Землі. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 4. С. 72—96. https:// doi.org/10.24028/gzf.0203-3100.v.42i4.2020.210673.

Наумко І.М. Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів): *автореф. дис. ... д-ра геол. наук*. Львів, 2006, 52 с.

Наумко І., Павлюк М., Побережський А. Геохімія і термобарометрія мінералоутворювальних флюїдів та термобарогеохімія евапоритів — всесвітньо відомі наукові школи. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2020. № 1(182). С. 62—75.

Павлишин В.І., Матковський О.І., Довгий С.О. *Генезис мінералів*. Київ, 2021, 676 с.

Roedder, E. (1984). *Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy*. Virginia: Mineralogical Society of America. Vol. 12, 644 p.

Thermobarogeochemical model of deep fluid's evolution in the Earth's lithosphere

I.M. Naumko, 2025

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

A thermobarogeochemical model of the evolution of deep fluids in the Earth's lithosphere (tectonosphere) was created, the main postulates of which is substantiated by the data of thermobarogeochemistry — the fundamental science on fluid inclusions as naturally preserved relics of the fluid mineral ore-oil-forming environment, the determinacy of which follows from the undeniable fact of their occlusion by microinclusions in crystals and preservation from the time of capture to the present. Analysis showed the real possibility of using inclusions to assess the fluid saturation of the subsoil and predict the ore-bearing and hydrocarbon saturation of promising structures. Supplementing the existing geological-geophysical and mineralogical-geochemical models with original data of the evolutionary model will form the basis of the Earth's thermobarogeochemical model.

Key words: fluid, inclusion, mineral, thermobarogeochemistry, model, lithosphere.

References

Ermakov, N.P., & Dolgov, Yu.A. (1979). *Thermobarogeochemistry*. Moscow: Nedra, 271 p. (in Russian).

Kalyuzhnyi, V.A. (1982). *Principles of the knowledge on mineral-forming fluids*. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).

Matkovskyi, O., Naumko, I., Pavlun, M., & Slyvko. Ye. (2021). *Thermobarogeochemistry in Ukraine*. Lviv: Prostir-M, 282 p. (in Ukrainian).

Naumko, I.M. (2015). Deep fluids of the Earth (according to the M.P. Semenenko oxygen-hydrogen model). *Geochronology and ore-bearing capacity of the Precambrian and Phanerozoic (to the 110th anniversary of the birth of Academician of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Mykola Panteleimonovych Semenenko): collection of abstracts of a scientific conference with international participation,* Kyiv, 17—18 November 2015 (pp. 20—21) (in Ukrainian).

Naumko, I.M. (2020). Mineralofluidology and synthesis and genesis of natural hydrocarbons in the Earth's interior. *Geophysical Journal*, *42*(4), 72—96. https://doi.org/10.24028/gzf.0203-3100.v.42i4.2020.210673 (in Ukrainian).

Naumko, I.M. (2006). Fluid regime of mineral genesis of the rock-ore complexes of Ukraine (based on inclusions in minerals of typical parageneses). *Candidate's thesis*. Lviv, 52 p. (in Ukrainian).

Naumko, I., Pavlyuk, M., & Poberezhskyi, A. (2020). Geochemistry and thermobarometry of mineral-forming fluids and thermobarogeochemistry of evaporites — world-renowned scientific schools. *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*, (1), 62—75 (in Ukrainian).

Pavlyshyn, V.I., Matkovskyi, O.I., & Dovhyi, S.O. (2021). *Genesis of minerals*. Kyiv, 676 p. (in Ukrainian).

Roedder, E. (1984). *Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy*. Virginia: Mineralogical Society of America, Vol. 12, 644 p.