

Й. М. Сворень, І. М. Науко

Надра Землі — природний фізико-хімічний реактор*(Представлено академіком НАН України Є. Ф. Шнюковим)*

На підставі відтворення глибинних високотемпературних процесів та умов мінералогенезу за флюїдними включеннями у мінералах встановлено, що діоксид вуглецю з аномально високим тиском і з $\delta^{13}\text{C} = (-6,1 \pm 0,5)\%$ є основним летким компонентом астеносфери Землі та вихідною речовиною для синтезу більшості цінних мінералів: діаманта найвищої якості, піропу, кварцу, магнетиту, карбонатів, вуглеводнів, зокрема в середовищі глибинного високотемпературного флюїду — високоенергетичного природного фізико-хімічного реактора земних надр. Ріст кристалів діаманту здійснюється окремими атомами вуглецю із CO_2 у розломній зоні розплав — породи літосфери у процесі міграції цього флюїду зі сполуками заліза у створеному ними електричному полі. Вуглеводні синтезуються з будь-яких вуглеводневмісних вихідних сполук з одночасним перебігом низки природних явищ: адіабатичних стиску — розширення, створенням високоелектроного електричного поля, відновно-окисного середовища і передплазмового стану речовини, утворенням множини макро- і мікротріщин тощо. “Вапняне молоко” разом з CH_4 (C_nH_m), CO_2 , H_2O були також первинно-вихідною сумішшю для формування прожилково-вкрапленої мінералізації — продукту глибинних високотемпературних процесів.

За даними вивчення флюїдних включень у мінералах, узагальненими в роботах [1–3], відтворено перебіг глибинних високотемпературних процесів та умови утворення більшості цінних корисних копалин: діамантів, нафти і газу, коштовного каміння, найважливіших металів тощо, наявних у літосфері, за безпосередньої участі вихідних речовин як астеносфери, так і власне літосфери під впливом потужної енергії магми у новоствореному високоенергетичному природному фізико-хімічному реакторі надр Землі.

Підставою-передумовою для чіткішого розуміння й усвідомлення цих явищ стали розроблені фізико-хімічна модель синтезу вуглеводнів і спосіб геохімічного пошуку покладів нафти і газу [4, 5], надалі розвинені та підтверджені теоретичними і експериментальними дослідженнями.

Згідно з цими результатами, з боку мантиї під впливом тектоногенної енергії у літосфері Землі виникає глибинний розлом, у порожнину якого в напрямі земної кори втілюється високотемпературний магматичний флюїд з мінеральною і вуглеводневмісними складовими [6]. Цю частину моделі встановлено [7] за складом летких речовин включень у мінералах незмінених ультраосновних і основних порід дна Світового океану, зокрема для базальтів рифтової зони Аравійсько-Індійського хребта, показано, що газові включення-пухирі в них містять лише діоксид вуглецю з $P = 6,1$ МПа. Нагріванням базальтового скла до $800\text{ }^\circ\text{C}$ з мікродфектів додатково виділено вуглеводневі гази, воду і водень у невеликих кількостях. Такі самі результати отримано вивченням олівину нодулів порід з о. Гаваї [8]. За даними ізотопного аналізу вуглецю цього CO_2 , величина його $\delta^{13}\text{C}$ становить $(-6,1 \pm 0,5)\%$ [9], що відповідає первинному вуглецю найбільш глибоких геосфер Землі.

Діоксид вуглецю у молекулярній формі знаходження й азот (у малих кількостях) нами встановлено у флюїдних включеннях у кристалах діаманта октаедричного габітусу з кімбер-

літових трубок “Мир” і “Айхал”. Це дало змогу дійти висновку, що він відображає специфіку флюїдного режиму Якутської діамантоносною провінції. Крім CO_2 , у складах газів додатково знайдено незначну кількість вуглеводнів, води, водню та оксиду вуглецю (CO), виділених з дефектів у кристалах діаманта [10] нагріванням. Встановлено закономірну залежність кількісного вмісту летких речовин від числа твердих включень, їхнього мінерального складу і структури з урахуванням факту на порядок вищої концентрації летких речовин у діамантах еклігітового парагенезу порівняно з діамантами ультраосновної — кімберлітової асоціації. Подібні дані отримано нами і при вивченні летких речовин у піропах з кімберлітів, у яких їхня загальна концентрація вища, ніж у діамантах.

У відділі геохімії глибинних флюїдів Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України одним із авторів цього повідомлення здійснено унікальне експериментальне дослідження [11]: вивчено склад летких речовин в окремому включенні — зоні-площині росту двох частин октаедра діаманта з трубки “Айхал”. Його унікальність полягає в тому, що досліджувати у кристалі дефекти росту розмірами в сотні нанометрів за допомогою звичайного мікроскопа неможливо. Через парамагнітність діаманта не можна також застосувати метод протонного парамагнітного резонансу, яким диференційовано визначають H_2O , CO_2 у молекулярних формах знаходження у вакуолях і структурних каналах деяких мінералів, а раманівську спектроскопію — через її низьку чутливість.

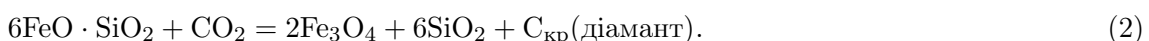
Тому було використано розроблену нами методику хімічного мас-спектрометричного аналізу з подрібненням зразка у високому вакуумі при кімнатній температурі. У спеціально сконструйованій вакуумній ступці діамант вдало розкололи на дві частини — по площині росту, що було зафіксовано у системі напуску приладу спадом (погіршенням) вакууму через виділення летких речовин з цього дефекту, оскільки сама зона-площина росту виявилася герметичним дефектом у кристалі, з одного боку, а з другого — вона як генетично первинне включення підтвердила первинну природу законсервованого флюїду, з якого формувався цей кристал. Основними леткими речовинами, виділеними із зони росту цього октаедра, були діоксид вуглецю й азот.

Грунтуючись на цих фактах, було розроблено [12] новий механізм синтезу природних кристалів діаманта, піропу, магнетиту, вуглеводнів та інших речовин.

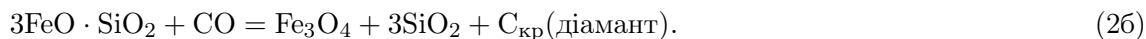
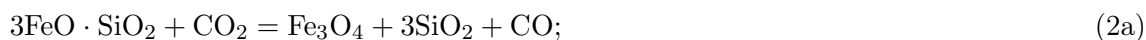
У процесі міграції глибинного високотемпературного флюїду в контактній зоні розплав — породи літосфери внаслідок їхньої контактної взаємодії-тертя виникає високовольтне електричне поле складної форми, в якому CO_2 переходить в енергозбуджений стан, його молекули розпадаються на окремі атоми і радикали з їхньою іонізацією. Ріст кристалів діаманта здійснюється окремими атомами вуглецю, які постійно надходять на його зовнішню поверхню. Під впливом електричного поля катіони вуглецю у розплаві-електроліті мігрують у певних напрямках залежно від конфігурації цього поля, створеної магмою-флюїдом, контактними породами літосфери та швидкістю їхнього руху в розломі-трубці, і потрапляють в область із сполуками заліза, що знаходяться там.

За таких умов кисень CO_2 поатомно відривається від молекули і утворює $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (магнетит), а хімічно активним атомам вуглецю найбільш енергетично вигідно з'єднуватися між собою, синтезуючи кристали діаманта найвищої якості. Виділені молекули SiO_2 з домішковими компонентами синтезують мінерали групи гранатів тощо.

Це ілюструють такі фізико-хімічні реакції у середовищі розплаву:



Перебіг реакції (2) —



Завдяки складовій флюїду-магми, в фізико-хімічних реакціях перебігу процесів синтезу кристалів піропу, магнетиту, діаманта тощо роль електричного поля найвагоміша через те, що в ньому мінеральні складові розплаву також переходять в енергозбуджений стан з іонізацією, що робить їх фізико-хімічно активними і рухливими, а це надзвичайно сприяє їхній хімічній взаємодії між собою з синтезом, як показано у працях [3, 6, 14], нових мінеральних і вуглеводневих сполук.

З мінеральної складової цього флюїду утворюється множина мінералів: кальцит, кварц, барит, флюорит, галіт, “мармарошські діаманти” тощо, а також карбонатні, кварц-карбонатні породи та ряд інших вторинних утворень, які щільно й герметично заліковують різнорозмірні тріщини.

Особливо важливим у цьому контексті є встановлення первинної форми знаходження вихідних речовин у процесах генезису і синтезу карбонатних прожилків. Поставлене завдання необхідно розв’язувати з урахуванням коефіцієнтів внутрішнього тертя (в’язкості (η)) найпоширеніших газів і пари води, знайдених у дефектах карбонатної породи: CH_4 (17 °C) = 0,00109 кг/(м · с); CO_2 (23 °C) = 0,00147 кг/(м · с); H_2O (160 °C) = 0,00974 кг/(м · с).

Розрахунки свідчать, що у випадку синтезу кальциту з водного розчину для утворення одного грама карбонатної (CaCO_3) породи з порожнини мікротріщини необхідно винести 66,6 л води. Для формування прожилка довжиною 100 м, заввишки 100 м і поперечним перерізом $1,0 \cdot 10^{-3}$ м (тобто об’ємом $10,0 \text{ м}^3$) необхідне надходження 27,0 т карбонатної речовини і, відповідно, $18,0 \cdot 10^6$ т (18 млн!?) води треба винести з порожнини цієї мікротріщини в процесі формування власне карбонатної породи. Оскільки виконані нами дослідження свідчать про щільність і герметичність прожилків, стає зрозумілим, що такої значної кількості води у них ніколи не було, відповідно, що у водному розчині не було і вихідних речовин у формі CaCO_3 . Не утворювалася карбонатна порода і при хімічних реакціях, оскільки прожилок — досить чисте утворення, в якому відсутні речовини, що могли б з’єднуватися з будь-яким аніоном, з яким міг би бути зв’язаний кальцій як вихідна речовина.

Ця проблема успішно розв’язується на підставі наведених фактів, зокрема, втіленням у земну кору глибинного високотемпературного флюїду [6], що сприяє розпадові контактних карбонатів на окремі складові (CaO й CO_2) понад 675 °C, які утворюють разом з парою води нижче 580 °C “вашняне молоко” і у суміші з домішковими вуглеводнями переносяться на значні віддалі. Наявність у флюїді CO_2 , CH_4 (C_nH_m) і пари води з низькими коефіцієнтами внутрішнього тертя сприяє його міграції на великі відстані та герметичному заліковуванню порожнин найрізноманітніших за геометрією і розмірами мікро- і макротріщин.

Наприклад, карбонат прожилка з керна свердловини 1-Сушеницька (інт. 4577–4587 м) у Карпатській нафтогазоносній провінції було досліджено на вміст летких речовин, унаслідок чого серед них встановлено (% за об’ємом): вуглеводні (сумарно CH_4 , C_2H_6 і C_3H_8) 52,60; CO_2 44,93; N_2 2,16, H_2 0,31.

Отримані результати підтверджують висловлені вище ідеї і основи нового наукового напрямку в геології — “термобарометрії і геохімії прожилково-вкрапленої мінералізації

у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій” і, як наслідок, те, що карбонатна речовина, утворена з мінеральної складової глибинного високотемпературного флюїду, вуглеводні та інші леткі речовини, що містяться у дефектах мінералів прожилково-вкраплених формувань, загалом є продуктами високотемпературних процесів, а також що поблизу вказаного інтервалу можлива наявність вуглеводневого покладу.

Утворений за запропонованим механізмом глибинний розлом (або розломи), в ідеальному випадку протяжністю від верхньої мантії до осадової оболонки, супроводжується такими природними явищами і процесами: у початковій стадії виникнення розлому в його порожнині різко знижується тиск, що сприяє засмоктуванню до неї з ділянки земної кори присутніх там летких речовин і води, тобто наявне адіабатичне розширення з частковим охолодженням приконттактних порід. Паралельно і одночасно з верхньої мантії у порожнину розлому надходить високотемпературний флюїд полікомпонентного складу, який у розломі піддається потужному стиску, внаслідок чого ці сполуки додатково стискаються і нагріваються не лише за рахунок власної внутрішньої системи, а також ще й за рахунок адіабатичного ефекту. Це явище, у свою чергу, створює високовольтне електричне поле, речовини в якому розпадаються на атоми, радикали, іони, що хімічно взаємодіють між собою після стабілізації складної геологічної і фізико-хімічної обстановки, синтезуючи у відновному середовищі вуглеводні абіогенно-біогенного генезису [3, 14] з формуванням гігантських і надгігантських родовищ.

У підсумку, аналізуючи наведені вище дані, дійшли таких важливих висновків.

З'ясовано, що до місць відбору зразків базальту і базальтового скла з дна Індійського океану високотемпературні магматичні флюїди базальтової лави, що нами вивчено [7, 9], надходили в два етапи: в інтрателуричний (1100–1150 °C) і після вилливу на поверхню (~ 1000 °C). Про це свідчить наявність навколо основних газових пухирів чохла дуже дрібних пухирців, що з'єднуються з основною масою порожнини. Ці факти дають підставу стверджувати про досить швидке проникання магматичного флюїду в дно океану, а це можливо лише у випадках утворення глибинного розлому протяжністю від астеносфери до дна океану. Втім, такі енергетичні явища-процеси потребують окремого розгляду.

Отримані результати також дають нам підставу для пояснення проблеми “Бермудського трикутника”. У розглянутому районі породи дна океану зруйновані-розущільнені та пов'язані з глибинними розломами, якими з мантії мігрує високотемпературний флюїд з аномально високою концентрацією діоксиду вуглецю. На шляху своєї міграції цей флюїд спричинює розпад контактних порід, зокрема карбонатів, органічних решток, газгідратів та утворення пари води. Така складна суміш: CO_2 , H_2O , CH_4 , C_nH_m (у малих кількостях) формує від дна океану до зовнішньої водної поверхні газопароводний стовп зменшеної густини. Оскільки ця суміш проривається до поверхні води з певними визначеними циклами і концентраціями, створюються умови для виникнення штормів, ураганів, смерчів та інших катастрофічних явищ із загорянням метану та інших вуглеводнів, що формує метанові “смолоскипи” заввишки до 600–1000 м над глибинними розломами вздовж усієї глобальної підводної системи сучасних рифтів та трансформних розколів [15].

Отож, надра Землі є потужним як джерелом вихідних речовин, так і високоенергетичним природним фізико-хімічним реактором, в якому утворюються і утворилися більшість цінних корисних копалин: діамантів, коштовного каміння, нафти і газу тощо. Особливо важливим, зокрема, є встановлення раніше невідомої властивості глибинного діоксиду вуглецю у різних формах знаходження у середовищі глибинного розлому-трубці зі сполу-

ками заліза переходити в енергозбуджений стан, розпадатися на окремі радикали і атоми з іонізацією та формуванням вихідних сполук для синтезу досконалих кристалів діаманта.

1. *Наушко І., Калюжний В., Братусь М. та ін.* Учення про мінералотвірні флюїди: пріоритетні завдання розвитку на сучасному етапі // Мінерал. зб. – 2000. – № 50. – Вип. 2. – С. 22–30.
2. *Наушко І. М., Калюжний В. А.* Підсумки та перспективи досліджень термобарометрії і геохімії палеофлюїдів літосфери (за включеннями у мінералах) // Геологія і геохімія горюч. копалин. – 2001. – № 2. – С. 162–175.
3. *Наушко І. М.* Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів): Автореф. дис. . . . д-ра геол. наук: 04.00.02 / НАН України. Ін-т геології і геохімії горюч. копалин. – Львів, 2006. – 52 с.
4. *Сворень Й. М.* Питання теорії генезису природних вуглеводнів та шляхи пошуку їх покладів // Тектогенез і нафтогазоносність надр України: Тези доп. наук. наради (Львів, 20–22 жовт. 1992 р.). – Львів, 1992. – С. 143–145.
5. *Братусь М. Д., Давиденко М. М., Зінчук І. М., Калюжний В. А., Матвієнко О. Д., Наушко І. М., Пірожик Н. Е, Редько Л. Р., Сворень Й. М.* Флюїдний режим мінералоутворення в літосфері (в зв'язку з прогнозуванням корисних копалин). – Київ: Наук. думка, 1994. – 192 с.
6. *Наушко І. М., Сворень Й. М.* О важности глубинного высокотемпературного флюида в создании условий для формирования месторождений природных углеводородов в земной коре // Новые идеи в науках о Земле: Материалы VI Междунар. конф. (Москва, 8–12 апр. 2003 г.). – Москва, 2003. – Т. 1. – С. 249.
7. *Шнюков Е. Ф., Калюжний В. А., Щирица А. С. и др.* Газовые флюиды контактовых базальтов дна Индийского океана (по реликтовым включениям) // Докл. АН СССР. – 1987. – **297**, № 6. – С. 1457–1460.
8. *Калюжний В. А.* Состав и генезис летучих компонентов флюидных включений в минералах основных и ультраосновных пород // Происхождение нефти и газа, их миграция и закономерности образования и размещения нефтяных и газовых залежей: Тез. докл. Респ. совещ. (Львов, апр. 1981 г.). – Львов, 1981. – Ч. I. Теоретические вопросы нефтегазовой геологии. – С. 56–57.
9. *Мамчур Г. П., Сворень Й. М., Калюжний В. А., Наушко І. М., Ярынич О. А., Шнюков Е. Ф.* Изотопный состав углерода свободной углекислоты из базальта дна Индийского океана // Всесоюз. совещ. по геохимии углерода: Тез. докл. (Москва, 14–16 дек. 1981 г.). – Москва: ГЕОХИ АН СССР, 1981. – С. 234–235.
10. *Тальникова С. Б., Барашков Ю. П., Сворень Й. М.* Состав и содержание газов в алмазах эцлогитового и ультраосновного парагенезиса из кимберлитовых трубок Якутии // Докл. АН СССР. – 1991. – **321**, № 1. – С. 194–197.
11. *Братусь М. Д., Зінчук Н. Н., Аргунов К. П., Сворень Й. М.* Состав флюидов во включениях в кристаллах алмаза Якутии // Минерал. журн. – 1989. – **12**, № 4. – С. 49–56.
12. *Сворень Й.* Новый механизм утворення природних кристалів піропу та алмазу // Мінералогія: історія, теорія і практика: Тези доп. Міжнар. наук. конф., присвяченої 140-річчю кафедри мінералогії Львів. нац. ун-ту ім. Івана Франка (Львів – Шацьк, 3–6 верес. 2004 р.). – Львів: ВЦ Львів. нац. ун-ту ім. Івана Франка, 2004. – С. 62–63.
13. *Сворень Й. М.* Примеси газов в кристаллах мінералов и других твердых телах, их способы извлечения, состав, форма нахождения и влияние на свойства веществ: Автореф. дис. . . . канд. техн. наук: 04.00.02 / АН УССР. Ін-т геології и геохімії горюч. ископаемых. – Львов, 1984. – 20 с.
14. *Сворень Й. М., Наушко І. М.* Нова теорія синтезу і генезису природних вуглеводнів: абіогенно-біогенний дуалізм // Доп. НАН України. – 2006. – № 2. – С. 111–116.
15. *Шнюков Е. Ф., Краюшкин В. А.* О природе нефти (к 100-летию со дня рождения академика АН УССР В. Б. Порфирьева) // Геол. журн. – 1999. – № 1. – С. 109–119.

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

Надійшло до редакції 06.02.2009

Bowels of the Earth: natural physicochemical reactor

On the basis of the reconstruction of deep-seated high-temperature processes and formation conditions of mineralogenesis using the data of fluid inclusion researches, it is established that carbon dioxide with anomalously high pressure and $\delta^{13}\text{C} = (-6,1 \pm 0,5)\text{‰}$ is the main volatile of the Earth's asthenosphere, as well as the initial matter for the synthesis of diamond crystals of the highest quality, pyrope (Arizona ruby), magnenite, carbonates, hydrocarbons, in particular in the medium of the deep-seated high-temperature fluid as a high-energy natural physicochemical reactor of the Earth's bowels. Growth of the diamond crystals is stimulated by some carbon atoms from CO_2 in the fractured zone "melting — lithospheric rocks" in the course of migration of the high-temperature magmatic fluid with ferrous compounds in the electric field created by them. Hydrocarbons are synthesized from any hydrocarbon-containing initial compounds in the course of a number of natural phenomena: adiabatic compression-expansion, rise of a high-voltage electric field, the creation of a redox medium and a pre-plasma state of matter, formation of a set of macro- and microcracks, etc. "Lime milk" together with CH_4 (C_nH_m), CO_2 , H_2O , N_2 were an initial-primary mixture for the formation of veinlet-impregnated mineralization — the product of deep-seated high-temperature processes.