

УДК 548.4:543.27:553.216

## ДО ПИТАННЯ ПРО РОЛЬ ВОДНЮ В ПРОЦЕСАХ МІНЕРАЛОУТВОРЕННЯ

**В. Гулій, І. Побережська**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна  
E-mail: vgul@ukr.net*

За допомогою методу високотемпературної газової хроматографії та аналізу газової фази індивідуальних включень у піроксені й апатиті з базит-ультрабазитових комплексів, карбонатитів, магнезійних докембрійських скарнів та метаморфічних порід з'ясовано, що водень постійно наявний у складі газової фази включень, а кількість його зазвичай найбільша в ранніх генераціях мінералів. Виявлено подібність включень за складом і пропорціями наявних газів у алмазовмісних і базит-ультрабазитових комплексах.

*Ключові слова:* водень, включення, природні гази, дегазація Землі, глибинні потоки вуглеводнів, гідротермальні системи.

Створення М. Єрмаковим [8] теоретичних основ термобарогеохімії та розробка ним технічних засад дослідження реліктових включень мінералоутворювального середовища різного агрегатного стану й часу утворення стимулювало різнопланові дослідження в численних лабораторіях світу та дало змогу перейти до кількісної оцінки фізико-хімічних умов мінерало- і рудоутворення.

Одним із результатів такого наукового зрушення було отримання характеристик геологічних процесів, які призводять до формування порід за участю флюїдних фаз, відомих під назвою інтрателуричні розчини, трансмагматичні потоки, інфільтраційні потоки та ін. [4, 24]. Виявлення серед включень у таких породах і окремих мінералах водню, метану і його гомологів, з одного боку, дало підтвердження інтуїтивним науковим припущенням про глибинні потоки водню і супутніх йому газів, а з іншого, – сприяло побудові кількісних моделей еволюції глибинних газів у верхах земної кори, атмосфері, гідросфері та дисипації водню. Вивчення процесів та об'єктів, які пов'язані з глибинними флюїдними потоками, еволюцією сполук водню та дисипацією за межі Землі [5–7, 9, 12, 21, 26], ґрунтується на дослідженні включень в утвореннях різного генезису.

Ми використали породи, де основними мінералами є піроксен та апатит. Застосовуючи одні й ті ж аналітичні методи, ми намагались отримати відомості про склад включень із порід різних типів та порівняти отримані дані з утвореннями і процесами, де водень і супутні гази відіграють помітну чи вирішальну роль.

Залучення в дослідження включень із утворень різних генетичних типів (кімберлітів, базит-ультрабазитових комплексів, карбонатитів, пізніх жильних приповерхневих утворень), мінерали яких формувались на різних глибинних рівнях земної кори і верхньої мантії, привело до нових, часто неочікуваних результатів.

Наприклад, у складі включень в алмазі та деяких мінералах-супутниках виявлено водень і метан [1], які доповнені іншими, звичними компонентами та мало відрізняються за пропорціями від включень у гідротермальних мінералах кімберлітів [2]. Видовий склад вуглеводневих включень у кристалах кварцу, відомих як мармароські “діаманти” [19], не відрізняється суттєво від включень у мінералах кімберлітів, хоча і простежуються кількісні варіації співвідношень окремих компонентів.

Такі парадоксальні, здавалось би, факти, супроводжуються ще більш незвичними відомостями про сучасні газові еманції в межах кімберлітових тіл давнього віку, що свідчить про тривале існування газопідвідних каналів. На практиці такі особливості газових еманцій нині використовують під час розшуків перспективних алмазоносних об’єктів за допомогою гелієвого чи водневого картування.

Інші масштабні геологічні утворення – Хібінський та Ловозерський лужні масиви на Кольському півострові, – подібно до кімберлітових тіл, мають еманції водню, вуглеводнів та інших супутніх газів [10, 17, 18, 21]; вони супроводжуються численними включеннями в мінералах і рудах масивів подібного складу, утвореними під час формування цих каледонських комплексів [17]. Вивчення складу включень та газових еманцій дало змогу пояснити катастрофічні вибухи в ході підземної розробки апатитових і рідкісно-металевих родовищ, локалізованих у геологічних блоках, де нема осадових порід з органічними рештками як імовірними джерелами вуглеводнів.

Склад газів упродовж тривалого часу в межах масивів вимірювали геологи Кольської філії РАН та МДУ. Вони виявили масштабність процесу газових еманцій, яка відповідає тенденціям загальнопланетного ритму зміни потоків водню й дегазаційних процесів Землі [21].

Широкі межі поширення водню, зміни його вмісту в часі, приурочення до давніх геологічних утворень у вигляді фаз первинних включень, сучасна планетарна система інтенсивного виділення водню в певних геологічних структурах спонукають детальніше розглянути роль водню в геологічних утвореннях різного віку й генезису. Уже нині з’являються певні висновки [6, 13, 16] щодо розподілу й поведінки водню, які в доповнення до вже наявних розшукових сфер застосування дадуть змогу використати ці відомості для практичних цілей.

Недавнє відкриття газового родовища Боракеобугу в Малі з умістом водню до 98 %, виявлення зон витоку водню із вражаючими екологічними наслідками, катастрофи під час підземного видобування вугілля [20, 23], які супроводжуються одноразовими викидами сумішей газів із воднем (що суттєво змінює рівновагу у вибухонебезпечних сумішах), пожежі й вибухи на нафтових і газових промислах, що тривають десятиріччями (а для ліквідації їхніх наслідків застосовували ядерні вибухи), – це напрями, які потребують суттєво більшого знання про водень та його особливості в природному середовищі [22, 25]. Важливе місце у вирішенні проблем походження та еволюції водневих концентрацій посідає безпосереднє вивчення його вмісту й розподілу у включеннях із мінералів різнотипних порід і руд.

Для визначення складу включень і вмісту в них водню й супутніх компонентів використано метод високотемпературної газової хроматографії, розроблений Ф. Летніковим [14, 24] (аналітик Н. Забоєва, Інститут земної кори РАН, м. Іркутськ), та метод визначення складу індивідуальних включень (аналітик Л. Мюхонова, Інститут геології та геофізики СВ РАН, м. Новосибірськ).

Вихідним матеріалом слугувало сорок мономінеральних проб піроксену й апатиту з різних генетичних типів порід і руд – базитів і ультрабазитів, карбонатитів, магнезійських скарнів, апатитоносних докембрійських силікатних і карбонатних руд Алданського щита [3, 27], а також численні мінеральні препарати з апатиту для вивчення індивідуальних включень. Для порівняння проаналізовано подібні породи й руди з Кольського півострова (родовище Ковдор), Прибайкалля (Слюдянка) і Забайкалля (Ошурківське родовище) [3].

Доцільність використання методу високотемпературної газової хроматографії вже обговорювали [11, 14, 15], однак до цього додамо ще кілька міркувань. Раніше цей метод звичайно використовували для аналізу газової фази в породах [24], що дало цінну інформацію про склад і розподіл флюїдної фази включень у різних за складом породах із основних геоструктурних елементів земної кори та верхньої мантії. Можна припустити, що в цьому разі деяке спотворення результатів виникало внаслідок взаємопереходів компонентів з різною валентністю або ж завдяки впливові мінеральних фаз з леткими компонентами. Щоб уникнути цього, для досліджень використано проби не порід, а окремих головних породоутворювальних мінералів – піроксену й апатиту.

Водночас ми перевірили можливі ефекти утворення нових фаз шляхом заміщення споріднених під час проведення високотемпературного хроматографічного аналізу. Для цього за результатами аналізу проб мономінеральних фракцій побудовано графіки розподілу компонентів, які можуть зазнавати взаємних переходів, однак лінійних зв'язків між вмістом цих компонентів не виявлено. Можливу зміну хімічного складу окиснених чи відновлених газів під час аналізу оцінювали також шляхом статистичного опрацювання отриманих результатів за допомогою побудови графіків розподілу вмісту окиснених і відновлених газів з оцінкою кореляційних зв'язків між ними. Додатково результати аналізів контролювали дослідженнями декрепітаційної активності піроксену й апатиту в термовакuumній установці.

Докази незмінності вихідних газів у ході високотемпературного хроматографічного аналізу отримано також за результатами визначення складу індивідуальних включень. Їхнє вивчення передбачало загальний огляд пластинок, виявлення включень і візуальну характеристику, вимірювання діаметра включень та подальший аналіз.

Переважним компонентом у складі включень у піроксені й апатиті є  $H_2O$ , у меншій кількості визначено  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ , (табл. 1, 2). Виявлено також азот у вигляді  $N_2$  та рідкісні гази.

Для аналізу і порівняння складу включень у різних утвореннях використано розрахункові величини – коефіцієнт відновлення  $K_v^*$  та кількісні співвідношення між різними фазами ( $H_2:H_2O$ ;  $CO:CO_2$  та ін.).

Вміст водню у складі включень у піроксені сумірний у різних типах піроксенових порід Алданського щита (див. табл. 1), однак він однозначно менший у піроксені магнезійських скарнів (1,65 і 1,09 проти 0,18 мл/г проби). Таку ж тенденцію змін має і характер відновності флюїдів: виявилось, що піроксен магнезійських скарнів утворювався в найбільш окиснювальних умовах. Водночас вміст  $CO_2$  і  $H_2O$  вирізняється зворотними залежностями: у магнезійних скарнах виявлено найбільший вміст  $CO_2$  (1,58 мл/г проби) і  $H_2O$  (3,14 мл/г проби). Характерно, що за наведеними показниками включення в піроксені з просторово відокремленого родовища Слюдянка (Прибайкалля) подібні до вклю-

---

\* $K_v = (H_2+CH_4+CO):(H_2O+CO_2)$ .

чень у піроксені аналогічних порід Алданського щита. Дещо збагачені газами у більш відновленій формі включення в піроксені з апатит-піроксенових руд.

Таблиця 1

## Характеристика флюїдної фази включень у піроксенах

| Породи, руди            | Компонент, мл/г проби    |                          |                           |                 |                          |                       | $K_b$                    |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                         | H <sub>2</sub> O         | CO <sub>2</sub>          | CO                        | CH <sub>4</sub> | H <sub>2</sub>           | N <sub>2</sub>        |                          |
| Піроксеніти             | <u>1.92</u><br>0,90–3,45 | <u>0.33</u><br>0,13–0,80 | <u>0.16</u><br>0,008–0,56 | Сліди           | <u>1.65</u><br>0,18–4,56 | <u>0.01</u><br>0–0,03 | <u>0.76</u><br>0,15–1,67 |
| Апатит-піроксенові руди | <u>2.20</u><br>1,06–4,98 | <u>0.77</u><br>0,12–1,80 | <u>1.01</u><br>0,09–8,55  | Те ж            | <u>1.09</u><br>0,30–2,19 | <u>0.05</u><br>0–0,07 | <u>0.62</u><br>0,12–2,06 |
| Магнезійні скарни       | <u>3.14</u><br>1,01–3,83 | <u>1.58</u><br>0,32–4,65 | <u>0.28</u><br>Сліди–0,59 | – “ –           | <u>0.18</u><br>0–0,54    | <u>0.03</u><br>0–0,08 | <u>0.11</u><br>0,03–0,34 |

Примітка: тут і далі в чисельнику наведено середнє значення, у знаменнику – межі вмісту.

Таблиця 2

## Характеристика флюїдної фази включень в апатиті

| Породи, руди            | Компонент, мл/г проби    |                           |                           |                 |                       |                          | $K_b$                      |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
|                         | H <sub>2</sub> O         | CO <sub>2</sub>           | CO                        | CH <sub>4</sub> | H <sub>2</sub>        | N <sub>2</sub>           |                            |
| Апатит-піроксенові руди | <u>2.78</u><br>0,33–5,18 | <u>1.02</u><br>0,19–2,92  | <u>0.05</u><br>Сліди–0,20 | Сліди           | <u>0.03</u><br>0–0,12 | <u>0.03</u><br>0–0,06    | <u>0.01</u><br>0–0,07      |
| Апатит-карбонатні руди  | <u>1.43</u><br>1,18–1,68 | <u>7.47</u><br>1,33–13,60 | <u>0.10</u><br>0,09–0,11  | Те ж            | Сліди                 | <u>0.004</u><br>0–0,07   | <u>0.02</u><br>0,007–0,030 |
| Магнезійні скарни       | <u>1.68</u><br>1,49–1,87 | <u>2.03</u><br>1,30–2,76  | <u>0.03</u><br>Сліди–0,05 | – “ –           | Те ж                  | <u>0.04</u><br>0,03–0,04 | <u>0.01</u><br>0–0,012     |

Очевидною відмінністю складу включень в апатиті від складу включень у піроксені є вкрай низькі значення водню та СО, сліди метану і, відповідно, близьке до нуля значення  $K_b$  (див. табл. 2). Основну роль серед включень в апатиті відіграють окиснені (H<sub>2</sub>O і СО<sub>2</sub>) фази. Зокрема, H<sub>2</sub>O (середнє – 2,78, 1,43 і 1,68 мл/г) і СО<sub>2</sub> (середнє – 1,02, 7,47, 2,03 мл/г) трапляються в співвідношеннях близько 2:1 і становлять основну частину флюїдної фази. У включеннях також постійно наявний азот у вигляді N<sub>2</sub> з найбільшими значеннями в межах 0,0л мл/г (див. табл. 2).

Як впливає з оцінок статистичних параметрів розподілу, вміст H<sub>2</sub>O у складі включень досить однорідний. Відхилення значень загалом для апатиту менше розкиду в межах окремого типу (в одній із проб апатиту з ділянки Укдуска виявлено максимальний вміст H<sub>2</sub>O – 5,16 мл/г). Значення СО<sub>2</sub> мають такі ж особливості, проте з дещо більшими варіаціями, очевидно, унаслідок різкого коливання значень у пробах з одного й того ж типу порід та з тих самих ділянок. Наприклад, у включеннях в апатиті Селігдара мінімальне значення СО<sub>2</sub> становить 1,33 мл/г, а максимальне – 13,6 мл/г. Більший вміст СО<sub>2</sub> характерний для апатиту з карбонатомісних мінеральних асоціацій, однак це не є загальною рисою, оскільки апатит в безкарбонатних асоціаціях (наприклад, у Ковдорському родовищі) також має підвищений вміст СО<sub>2</sub> – 4,06 мл/г. Розподіл вмісту СО<sub>2</sub> до-

статньо однорідний, хоча зафіксовано аномальне підвищення його значень у декілька разів для апатиту Ошурківського родовища.

Особливістю кількісних співвідношень компонентів у флюїдній фазі включень в апатиті є змішана флюїдна система, у якій виявлено тенденцію переважання суми газів  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  над вмістом  $\text{H}_2\text{O}$ . Винятковим є високий вміст води в апатиті родовища Укдуска.

Вміст  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CO}_2$  у складі флюїдних фаз пов'язаний зворотним лінійним зв'язком, що з'ясовано під час аналізування кореляційних діаграм, побудованих для визначення взаємозв'язків кількості окремих газів. За допомогою таких діаграм фіксують нечітко виражений обернено пропорційний лінійний зв'язок вмісту  $\text{N}_2$  і  $\text{CO}_2$  та відсутність значимих зв'язків у розподілі інших компонентів.

Для загальної оцінки ступеня окиснення флюїдів використовували діаграми  $\text{H}-\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CO}-\text{CO}_2$ . Виявлено низький ступінь відновлення флюїдів щодо  $\text{H}$  і  $\text{C}$ , причому для водню зафіксовано найнижчі, близькі до нуля, значення. Низькі значення  $K_v$  флюїду включень підтверджують високий ступінь окиснення флюїдів в апатиті.

Порівняння результатів аналізу флюїдної фази в апатиті й діопсиді з апатитоносних товщ Алданського щита і Прибайкалля [3, 27] засвідчує, що в більшості випадків якісний склад флюїдної фази в обох мінералах близький. З'ясовано, що в складі включень в апатиті однаково трапляються  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CO}_2$ , на відміну від переважання  $\text{H}_2\text{O}$  у складі включень у діопсиді. Виявлено лінійний прямо пропорційний (для  $\text{H}_2\text{O}$ ) і незалежний (за  $\text{CO}_2$ ) зв'язок вмісту окиснених газів. За розподілом вмісту  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$  у складі флюїдних фаз визначено більш відновний характер флюїдів у включеннях у піроксені, ніж в апатиті. Більші значення  $K_v$  також характерні для газових включень у піроксенах. Загалом для включень у піроксенах значення більші (максимальні – 2,0), а для включень в апатиті вони близькі до нуля. Для газової складової включень у бідних на апатит піроксенових породах характерні менші значення  $K_v$ .

Дослідження індивідуальних включень полягало у визначенні особливостей розподілу включень, залежностей розміру включень та їхнього наповнення, у статистичній оцінці розподілу наповнення включень. Незважаючи на варіації розміру включень в апатиті різних генетичних типів (табл. 3–5), уважаємо, що суттєвої різниці в їхніх розмірах немає (середнє – 0,03 мм).

Як бачимо, найбільш значимими за об'ємом у складі включень є  $\text{CO}_2$  і ціла група газів, які, хоча і майже постійно наявні у включеннях, та їхній вміст незначний. Внесок водню у складі включень низький і менший, ніж  $\text{CO}$  й азоту. Часто водню у включеннях зовсім нема, а інколи його вміст аномально високий. Залежностей у розподілі таких включень з воднем не виявлено.

Ще менший вміст водню та неоднорідність його розподілу характерні для включень в апатиті з піроксенових порід. Важливою рисою складу включень в такому апатиті є постійний і високий вміст азоту (у вигляді  $\text{N}_2$ ), який подекуди є переважною фазою. Цю тенденцію простежують у складі включень в апатиті з магnezійних скарнів (див. табл. 5), де практично не виявлено відновних фаз  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ , а  $\text{N}_2$  має суттєве значення.

Отже, результати аналізу складу включень засвідчують постійну наявність водню в процесах формування досліджених породних комплексів. Високий вміст водню в піроксені, головному породоутворювальному мінералі, свідчить про його значну роль та інтенсивне надходження в початкові етапи формування піроксенових порід.

Таблиця 3

Результати кількісного аналізу складу газової фази індивідуальних включень  
в апатиті з апатит-карбонатних порід

| Номер за порядком | Діаметр аналізованої бульбашки, мм | Концентрація компонентів, об. %  |          |                |                                 |
|-------------------|------------------------------------|--|----------|----------------|---------------------------------|
|                   |                                    | H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, HCl, CO <sub>2</sub> | CO       | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> та рідкісні газы |
| 1                 | 0,0066                             | 100,0  | 0,0      | 0,0            | 0,0                             |
| 2                 | 0,0144                             | 85,5   | 0,0      | 0,0            | 14,5                            |
| 3                 | 0,0264                             | 50,0   | 0,0      | 0,0            | 50,0                            |
| 4                 | 0,0270                             | 19,0   | 0,0      | 0,0            | 81,0                            |
| 5                 | 0,0330                             | 35,5   | 0,0      | 0,0            | 64,5                            |
| 6                 | 0,0786                             | 86,0   | 0,0      | 0,0            | 14,0                            |
| 7                 | 0,0180                             | 63,5   | 0,0      | 0,0            | 36,5                            |
| 8                 | 0,0540                             | 27,5   | 0,0      | 0,0            | 62,5                            |
| 9                 | 0,0186                             | 59,0   | 0,0      | 0,0            | 41,0                            |
| 10                | 0,0282                             | 65,5   | 11,0     | 0,0            | 23,5                            |
| 11                | 0,0360                             | 45,0   | 17,5     | 7,5            | 30,0                            |
| 12                | 0,0162                             | 38,5   | 14,5     | 17,5           | 29,5                            |
| 13                | 0,0344                             | 41,5   | 25,5     | 5,5            | 27,5                            |
| 14                | 0,0180                             | 26,5   | 28,0     | 24,0           | 21,5                            |
| 15                | 0,0468                             | 52,5   | 8,5      | 11,0           | 28,0                            |
| 16                | 0,0252                             | 76,0   | 7,5      | 5,5            | 11,0                            |
| 17                | 0,0408                             | 67,0   | 7,5      | 6,5            | 19,0                            |
| Середнє           | 0,0307                             | 54,3   | 15,0     | 11,1           | 32,6                            |
| Розмах значень    | 0,0066–0,0786                      | 19,0–100,0   | 7,5–28,0 | 5,5–24,0       | 11,0–81,0                       |

Таблиця 4

Результати кількісного аналізу складу газової фази індивідуальних включень  
в апатиті з піроксенових порід

| Номер за порядком | Діаметр аналізованої бульбашки, мм | Концентрація компонентів, об. %  |     |                |                                 |
|-------------------|------------------------------------|--|-----|----------------|---------------------------------|
|                   |                                    | H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, HCl, CO <sub>2</sub> | CO  | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> та рідкісні газы |
| 1                 | 0,0150                             | 56,0   | 0,0 | 36,0           | 8,0                             |
| 2                 | 0,0912                             | 0,0  | 0,0 | 0,0            | 100,0                           |
| 3                 | 0,0504                             | 0,0  | 0,0 | 0,0            | 100,0                           |
| 4                 | 0,0348                             | 24,5   | 0,0 | 0,0            | 75,5                            |
| 5                 | 0,0306                             | 27,0   | 0,0 | 0,0            | 73,0                            |
| 6                 | 0,0174                             | 20,0   | 0,0 | 0,0            | 80,0                            |
| 7                 | 0,0294                             | 60,5   | 0,0 | 0,0            | 39,5                            |
| 8                 | 0,0336                             | 25,5   | 0,0 | 0,0            | 74,5                            |
| 9                 | 0,0282                             | 18,5   | 0,0 | 0,0            | 81,5                            |
| Середнє           | 0,0367                             | 25,8   | 0,0 | –              | 70,2                            |
| Розмах значень    | 0,0150–0,0912                      | 0,0–60,0   | –   | –              | 8,0–100,0                       |

Таблиця 5

Результати кількісного аналізу складу газової фази індивідуальних включень в апатиті з докембрійських магнезійних скарнів

| Номер за порядком | Діаметр аналізованої бульбашки, мм | Концентрація компонентів, об. %  |     |                |                                |
|-------------------|------------------------------------|--|-----|----------------|--------------------------------|
|                   |                                    | H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> , HF, HCl, CO <sub>2</sub> | CO  | H <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> та рідкісні газ |
| 1                 | 0,0180                             | 49,0   | 0,0 | 0,0            | 51,0                           |
| 2                 | 0,0336                             | 37,5   | 0,0 | 0,0            | 62,5                           |
| 3                 | 0,0312                             | 63,5   | 0,0 | 0,0            | 36,5                           |
| 4                 | 0,0186                             | 96,5   | 0,0 | 0,0            | 35,0                           |
| 5                 | 0,0480                             | 55,5   | 0,0 | 0,0            | 44,5                           |
| 6                 | 0,0204                             | 55,0   | 0,0 | 0,0            | 45,0                           |
| 7                 | 0,0210                             | 88,5   | 0,0 | 0,0            | 11,5                           |
| 8                 | 0,0270                             | 92,5   | 0,0 | 0,0            | 7,50                           |
| 9                 | 0,0294                             | 100,0  | 0,0 | 0,0            | 0,0                            |
| 10                | 0,0090                             | 100,0  | 0,0 | 0,0            | 0,0                            |
| Середнє           | 0,0256                             | 73,8   | 0,0 | 0,0            | 26,2                           |
| Розмах значень    | 0,0090–0,0480                      | 37,5–100,0   | –   | –              | 0,0–62,5                       |

Очевидно, надалі привнесення водню припинилось, а його обмежені залишкові об'єми розподілились серед пізніших мінералів під час консолідації порід. Роль водню суттєво зменшилася внаслідок відсутності нових його потоків у ході формування апатиту, а також у генетично відірваних у часі магнезійних скарнах. Подальша панівна оксидна обстановка і в піроксенових породах, і в скарнах сприяла появі більшого розмаїття мінеральних видів порівняно з майже мономінеральними породами ранніх етапів. Значна неоднорідність у розподілі водню в різних геологічних обстановках відображає, найімовірніше, з одного боку, пульсаційний характер його надходження у верхні шари земної кори, а з іншого, – ступінь відкриття каналів його проникнення, що зумовлено конкретною геологічною обстановкою. Дуже важливою особливістю складу вивчених включень є їхня подібність до складу включень в алмазі з відомих кимберлітових провінцій [1, 28].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартошинский З. В. Газовые примеси в алмазах Якутии / З. В. Бартошинский, С. Н. Бекеша, Т. Г. Винниченко [и др.] // Минерал. сб. – 1987. – № 41, вып. 1. – С. 25–32.
2. Братусь М. Д. Углеводородные соединения во включениях в гидротермальных минералах из кимберлитов Якутии / М. Д. Братусь, Н. С. Бескровный, Г. П. Мамчур [и др.] // Минерал. сб. – 1990. – № 44, вып. 2. – С. 81–86.
3. Булах А. Г. Фосфорные руды докембрійских толщ Алдана (геология, минералогия, генезис) / А. Г. Булах, В. Н. Гулий, А. А. Золотарев. – Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1990. – 220 с.
4. Волохов И. М. Магмы, интрателлурические растворы и магматические формации / И. М. Волохов. – Новосибирск : Наука, 1979. – 167 с.

5. Головчанская И. В. Диссипация водорода и изотопов гелия из атмосферы Земли : автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. физ.-мат. наук / И. В. Головчанская. – Л. : ЛГУ, 1983. – 24 с.
6. Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезисы : Всерос. конф. : материалы. – М. : ГЕОС, 2008. – 622 с.
7. Дигонский С. В. Неизвестный водород / С. В. Дигонский, В. В. Тен. – СПб. : Наука, 2006. – 235 с.
8. Ермаков Н. П. Исследования минералообразующих растворов / Н. П. Ермаков. – Харьков : Изд-во Харьков. ун-та, 1950. – 460 с.
9. Заварицкий А. В. Дунит Нижне-Тагильского массива на Урале с глубины 500 м. Выделение газа из скважины в дунитовом массиве на Урале / А. В. Заварицкий // Вестн. Геол. комитета. – 1925. – № 4. – С. 35–38, 75.
10. Икорский С. В. Геохимия газов эндогенных образований / С. В. Икорский, В. А. Нивин, В. А. Припачкин. – СПб. : Наука, 1992. – 179 с.
11. Калюжный В. А. Основы рационального применения методов анализа газовых компонентов флюидных включений (проблема определения водорода) / В. А. Калюжный, И. М. Сворень // Минерал. сб. – 1979. – № 33, вып. 1. – С. 35–41.
12. Кудрявцев Н. А. Генезис нефти и газа / Н. А. Кудрявцев. – Л. : Недра, 1973. – 214 с.
13. Ларин В. Н. О роли водорода в строении и развитии Земли / В. Н. Ларин // Научные собрания ИМГРЭ. – М., 1971. – Вып. 6. – С. 3–67.
14. Летников Ф. А. К вопросу о корректности применения хроматографических анализов при геохимических исследованиях / Ф. А. Летников // Геохимия. – 1980. – № 1. – С. 154–157.
15. Матяш И. В. О газовой составляющей в некоторых мантийных породах Украины / И. В. Матяш, А. М. Калиниченко, Л. Ф. Пасальская // Геохимия и рудообразование. – 1980. – Вып. 8. – С. 98–102.
16. Молчанов В. И. Генерация водорода в литогенезе / В. И. Молчанов. – Новосибирск : Наука, 1981. – 143 с.
17. Нивин В. А. Газовые компоненты в магматических породах: геохимические, минерогенические и экологические аспекты и следствия (на примере интрузивных комплексов Кольской провинции) : автореф. дисс. на соискание уч. степени д-ра геол.-мин. наук / В. А. Нивин. – М., 2013.
18. Нивин В. А. О природе газовой фазы Ловозерского массива по изотопному составу водорода / В. А. Нивин, А. Л. Девирц, Е. П. Лагутина // Геохимия. – 1994. – № 12. – С. 1787–1793.
19. Сворень Й. М. Роль різних форм водню та вуглецю в природних процесах: новий погляд на походження вуглеводнів / Й. М. Сворень, І. М. Наумко // Доп. НАН України. – 2006. – № 1. – С. 131–134.
20. Скурский М. Д. Золото-редкоземельно-редкометалльно-нефтегазоугольные месторождения и их прогноз в Кузбассе / М. Д. Скурский. – Кемерово : КузГТУ, 2005. – 627 с.
21. Сывороткин В. Л. Экологические аспекты дегазации Земли : автореф. дисс. на соискание уч. степени д-ра геол.-мин. наук / В. Л. Сывороткин. – М. : МГУ, 2001.
22. Таран Ю. А. Геохимия геотермальных газов / Ю. А. Таран. – М. : Наука, 1988. – 168 с.



23. Углеводородная флюидизация ископаемых углей восточного Донбасса / В. Н. Труфанов, М. И. Гамов, В. Г. Рылов [и др.]. – Ростов-н/Д. : Изд-во Ростов. ун-та, 2004. – 272 с.
24. Флюидный режим земной коры и верхней мантии / Ф. А. Летников, И. К. Карпов, А. И. Киселев, Б. О. Шкандрий. – М. : Наука, 1977. – 216 с.
25. Чекалюк Э. Б. Нефть верхней мантии Земли / Э. Б. Чекалюк. – Киев : Наук. думка, 1967. – 256 с.
26. Catling D. C. The Planetary Air Leak. As Earth's atmosphere slowly trickles away into space, will our planet come to look like Venus? / D. C. Catling, K. J. Zahnle // Scientific American. Planetary science. –2009. – May. – P. 36–43.
27. Guliy V. Main features of composition and origin of apatite deposits in the metamorphic rocks of the Aldan Shield, Siberia, Russian Federation / V. Guliy // Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. – 1995. – Vol. 104.
28. Guliy V. Fluid inclusion and stable isotope study of the Precambrian rocks of the Aldan Shield related to understanding of Gondwana evolution / V. Guliy, H. Wada // Gondwana Research. – 2004. – Vol. 7, N 4 (S). – P. 1305–1306.

*Стаття: надійшла до редакції 22.11.2013  
прийнята до друку 29.11.2013*

## **ABOUT THE ROLE OF HYDROGEN IN MINERAL-FORMING PROCESSES**

**V. Guliy, I. Poberezhska**

*Ivan Franko National University of Lviv,  
4, Hrushevskiy St., 79005 Lviv, Ukraine  
E-mail: vgül@ukr.net*

Pyroxene and apatite have been studied by high temperature chromatography analysis and gas analysis of individual inclusions. It has been obtained information on chemical composition of inclusions for the minerals from basic-ultrabasic complexes, carbonatites, magnesium Precambrian calc-silicate rocks and metamorphic rocks. Hydrogen is constant component of the inclusions and their amounts are most high in more early generations of the minerals. There is similarity between composition of the inclusions in diamond-bearing and basic-ultrabasic rocks.

*Key words:* hydrogen, inclusion, natural gases, degassing of the Earth, depth flows of hydrocarbons, hydrothermal systems.

## К ВОПРОСУ О РОЛИ ВОДОРОДА В ПРОЦЕССАХ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

**В. Гулий, И. Побережская**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,  
ул. Грушевского, 4, 79005 г. Львов, Украина  
E-mail: vgul@ukr.net*

С помощью метода высокотемпературной газовой хроматографии и анализа газовой фазы индивидуальных включений в пироксене и апатите из базит-ультрабазитовых комплексов, карбонатитов, магнезиальных докембрийских скарнов и метаморфических пород установлено, что водород постоянно присутствует в составе газовой фазы включений, а содержание его обычно наибольшее в ранних генерациях минералов. Выявлено сходство изученных включений по содержанию и пропорциям газов в алмазосодержащих и базит-ультрабазитовых комплексах.

*Ключевые слова:* водород, включения, природные газы, дегазация Земли, глубинные потоки углеводородов, гидротермальные системы.