

Й. М. Сворень, І. М. Наумко

**Термобарометрія і геохімія газів  
прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах  
нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій:  
глибинні флюїдопотоки**

*(Представлено академіком НАН України Є. Ф. Шнюковим)*

*It is established that the character of distribution and general composition of volatile-gaseous components of the fluid inclusions of veinlet-impregnated mineralization in the deposits of oil- and gas-bearing regions and metallogenic provinces appears to be one of the most important indications of the fixation of fluid-conducting fault zones, the occurrence of deep fluid flows in them, and the genesis and formation of oil, gas, and some ore deposits (first of all, gold-containing ones). Closeness of the composition and temperature conditions of the hydrocarbon conservation in inclusions of the vein minerals in series of different ages testifies to the simultaneousness or nearness of their migration through the fault zones in the vast territories of oil- and gas-bearing regions, including the Ukraine, and lets the reason to envisage their accumulation in structures-traps (under the favorable conditions) with formation of oil and gas deposits. The obtained results and the new theory of genesis and synthesis of natural hydrocarbons created by the authors from the positions of abiogenic dualism corroborate the views of the Corresponding member of the NAS of Ukraine M. R. Ladyzhens'kyi about that oil from the Carpathian fields contains a constituent originated via inorganic synthesis and migrated from depths through the regional fractures-faults with ultrahigh pressures in the course of a short period of time that also is not in conformity with the knowledge about the oil- and gas-bearing basins.*

Фізико-хімічні процеси формування покладів-родовищ таких цінних копалин, як нафта і газ, фіксуються дефектами у твердих тілах — реліктами флюїдного середовища кристалізації мінералів та їхніх парагенних асоціацій [1] і є свідченнями перебігу цих процесів у просторі та часі за участю сполук різноманітного речовинного складу у широкому термодинамічному інтервалі.

Бездефектних ідеальних твердих тіл — мінералів, порід — у природі немає, тому що навіть у синтезованих з надчистих вихідних речовин ниткоподібних кристалах-вусах є, щонайменше, одна осьова гвинтова дислокація. Численними дослідженнями, узагальненими у праці [2], з'ясовано, що найважливіша генетична інформація про середовище та умови мінераловуглеводне- і рудоутворення зосереджена в таких дефектах у твердих тілах: точкових — домішкові атоми, вакансії, міжвузлові атоми; лінійних (одновимірних) — крайові та гвинтові дислокації, ланцюги точкових дефектів; поверхневих (двовимірних) — границі зерен, двійники, блоки мозаїки, зовнішні поверхні; тривимірних (так званих макродефектах у мінералах) — тріщини, пори, включення, виділення домішкових фаз, газові пухирі. Кристал із концентрацією домішок у межах 0,1% вважається досить чистим. Такі домішкові атоми, як В, С, N, О, Si втілюються в тетраедричні міжвузля або витісняють з вузла атом і утворюють з ним пару типу гантелі, орієнтовану вздовж <100>. Об'єднуючись,

вакансії утворюють дивакансії, тривакансії, вакансійні тетраедри, пори, пустоти. Дислокації вважаються транспортними магістралями прискороного руху для атомів у кристалі, бо коефіцієнт самодифузії вздовж дислокації на кілька порядків більший, ніж у бездефектній кристалічній ґратці, та зростає з підвищенням температури, прискорюючи переміщення атомів у кристалі і формуючи мікрофлюїдні потоки.

Посилення уваги дослідників до розломних зон викликано доказаними фактами розвитку в областях-місцях їхнього поширення різнорозмірних тріщин та прояву підвищеної флюїдопроникності [3], зумовленої припливом флюїдів з глибинних горизонтів літосфери внаслідок як їхньої прискороної міграції активними розривними-розломними порушеннями, так і генерації нових речовин та їхньої диференціації у процесах роздрібнення і динамометаморфізму.

Поява флюїдопровідних розломних зон успішно пояснюється розробленою моделлю [4], яка передбачає в певній ділянці земної кори зародження-утворення, внаслідок потужної тектоногенної енергії, тектонічного розлому, та проникнення в його зону високотемпературного флюїду полікомпонентного складу з вуглеводневмісними речовинами [5]. За адіабатичним процесом [6], такий флюїд також паралельно втілюється у множину тріщин, які в більшості випадків орієнтовані за радіусами з центром у цьому розломі. У ці тріщини проникають як складові флюїду, що мігрує, так і вуглеводневмісні речовини, вивільнені і засмоктані з вмисних порід. При дії комплексу фізико-хімічних факторів (високих температур і тисків, активних каталізаторів, електричного поля тощо) склад сумарного флюїду різко змінюється. За цих умов вуглеводневмісні речовини (діоксид вуглецю, карбонати, вода, гідратні сполуки, слабкозмінена органічна речовина тощо) розкладаються на окремі атоми і радикали, які в електричному полі сортуються відповідно до своїх зарядів і стають вихідними продуктами реакцій синтезу вуглеводнів полікомпонентного складу. Метан, маючи найменший діаметр своєї молекули і слабо виражені сорбційні властивості, порівняно з більш високомолекулярними вуглеводнями, інтенсивно проникає у таку ділянку-область літосфери на значні відстані.

Синтез вуглеводнів [7, 8] і формування їхніх родовищ проходить у процесі спаду температури та стабілізації складної фізико-хімічної обстановки в області знаходження вуглеводневої складової флюїду. Водночас утворена низка мінералів: кальцит, кварц, барит, “мармароські діаманти”, а також карбонатні, кварц-карбонатні породи у вигляді жил та прожилків щільно й герметично заповнюють і цементують порожнини макро- і мікротріщин на сотні метрів-кілометри у довжину та мікрони-міліметри-сантиметри у попереку [9].

Наприклад, прожилковий карбонат з порід, розкритих свердловиною 1-Сушеницька (інтервал 4577–4587 м) у Карпатській нафтогазоносній провінції містить, % за об'ємом: вуглеводні сумарно  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  та  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  — 52,60,  $\text{CO}_2$  44,93,  $\text{N}_2$  2,16,  $\text{H}_2$  0,31. Ці дані переконливо свідчать про те, що поблизу зазначеного інтервалу можлива наявність вуглеводневого покладу. Карбонатна ж речовина входила до мінеральної складової глибинного високотемпературного флюїду, а вуглеводні та інші сполуки, наявні у дефектах мінералів прожилків, загалом є продуктами вже згаданих високотемпературних процесів.

Кварц-карбонатні жили Складчастих Карпат [8, 10–12 та ін.] додатково містять визначені візуально та мікроскопічно вуглеводневі сполуки як у вигляді самостійних виділень, так і у включеннях у мінералах. На кальциті, що виповнює ці жили, зафіксовано самостійні агрегати чорного смолистого мінералу, а також водяно-прозорі кристалики кварцу-“мармароські діаманти” (надалі “діаманти”), які синтезувалися із полікомпонентного флюїду і містять газові, газиво-рідкі включення флюїдів і тверді включення смолистого мінералу.

Дослідженнями умов утворення і складу флюїдів у кристаликах кварцу-“діаманту” встановлено, що їхня кристалізація, за даними вищезгаданих праць, розпочиналася при 220–230 °С і, можливо, вище та тиску, який досягав 420–270 МПа. Самі включення у “діаманті” є істотно газовими і містять переважно метан.

В інших кристаликах “діамантів” є додаткові фази, зокрема, згустки червоного або темно-бурого кольорів на загальному жовтому фоні включення. Дослідженнями встановлено, що жовтий тон задається тонкою вуглеводневою плівкою, яка обліплює стінки включення і світиться в ультрафіолетових променях (УФС). У самих включеннях, що за кімнатних умов відповідають типу G (газ) + B (тверда фаза), з пониженням температури додатково утворюється фаза рідкого метану ( $L_1$ ) і вони стають трифазовими типу G + B +  $L_1$ .

Склад легких компонентів у включеннях типу G+B ( $G+B+L_1$ ) в основному вуглеводневий: метан і його гомологи. У деяких газових включеннях зафіксовано у малих кількостях азот і діоксид вуглецю, а у включеннях з двома рідкими фазами (тип  $L_1 + L_2 + G$ ) поряд з вуглеводнями встановлено воду ( $L_2$ ). Наявність у суміші метану з важкими вуглеводнями азоту, а також, особливо, води й діоксиду вуглецю збільшує розчинну здатність важких вуглеводнів [13] і сприяє їхньому активному переміщенню-міграції.

Описані вище материнські включення типу G + B +  $L_1$  оточені ореолами розтріскування, з дочірніх включень в яких на УФС частіше реагують ті, що знаходяться ближче до материнського включення. У праці [11] це пояснювалося розтріскуванням включень, супроводжуваним утворенням додаткового об'єму та його приєднанням до об'єму наявної вакуолі, раптовим спадом внутрішнього тиску, що приводять до проникнення у тріщину легких фаз, випаданням з вуглеводневої фази у материнському включенні важких нафтових вуглеводнів — твердих згустків.

Нами ж обґрунтовано утворення як власне тріщинок, так і здійснення розпаду первинних вуглеводнів з подальшою їхньою диференціацією внаслідок, найімовірніше, адіабатичних явищ, як це трактує праця [6]. Встановлено, що у материнських включеннях залишаються високомолекулярні вуглеводні у вигляді твердих згустків, а у дочірніх — низькомолекулярні та газові вуглеводневі речовини-сполуки.

За нашими даними мас-спектрометричного хімічного аналізу було з'ясовано, що істотно газові включення у “мармароському діаманті” із жил околиць с. Люта (Дуклянська зона, верхня крейда) містять, % за об'ємом:  $CH_4$  97,48 і  $N_2$  2,52; аналогічні включення — с. Воловець відповідно:  $CH_4$  97,66 і  $N_2$  2,34. У “мармароському діаманті” з району с. Нижні Ворота (Кросненська зона, олігоцен) у включеннях типу  $L_1 + L_2 + G$  міститься, % за об'ємом:  $CH_4$  62,21,  $C_2H_6$  6,71,  $C_3H_8$  6,06,  $C_4H_{10}$  3,97,  $C_5H_{12}$  1,32,  $CO_2$  1,04,  $N_2$  5,37,  $H_2O$  13,32.

Отже, основним газовим компонентом включень у “діамантах” з різних місць Карпат є метан, вміст якого домінує. На вуглеводневий склад включень у них мало впливає вік порід з цими кварц-карбонатними жилами. Важливим є генетичний зв'язок кристаликів “діамантів” з тектонічними розломами як доказ синтезу мінералу під час міграції вуглеводневмісних і мінерало-породоутворювальних флюїдів та зміни полікомпонентного флюїду у часі, особливо інтенсивно у момент збагачення водою.

Ці жили з прозорими кристаликами кварцу-“діаманту” є характерними для різновікових осадових комплексів Складчастих Карпат (пізня крейда, олігоцен), Рахівського масиву і Чивчинських гір (тріас, крейда). Водночас, метаморфічні породи Рахівського масиву містять додатково жили молочно-білого кварцу, газово-рідкі включення в якому гомогенізуються у межах 180–130 °С, на продуктивному етапі мінералогенезу, досягаючи 320 °С, і насичені метаном та його гомологами у суміші з діоксидом вуглецю й азотом [11].

Оскільки насув метаморфічних порід Рахівського масиву на осадові товщі здійснювався у післяпізньокрейдову епоху, то міграція вуглеводневмісних флюїдів у Карпатах, що відбувалася у проміжку між пізнім і середнім пліоценом [14], була викликана активною тектонічною обстановкою, що поновила старі і проклала нові шляхи для проникнення глибинних високотемпературних флюїдів.

Отже, одним з найважливіших показників фіксації флюїдопровідних розломних зон, прояву в них глибинних флюїдних потоків, генезису та формування нафтогазових і деяких рудних (насамперед, золотовмісних) родовищ є характер розподілу та загальний склад летких газових компонентів флюїдних включень прожилково-вкрапленої мінералізації. Близькість складу і температурних умов консервації вуглеводнів у включеннях у жильних мінералах серед різновікових товщ у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій свідчить про одно- чи близькочасність їхньої міграції зонами розломів на значних територіях нафтогазоносних областей, зокрема й України та дає підставу передбачати їхнє нагромадження (за сприятливих умов) у структурах-пастках з утворенням покладів-родовищ нафти і газу. Наданими результатами і створеною авторами новою теорією генезису і синтезу природних вуглеводнів з позицій абіогенно-біогенного дуалізму [15] підтверджуються погляди члена-кореспондента НАН України М. Р. Ладиженського про те, що нафта карпатських родовищ містить складову неорганічного синтезу, яка мігрувала з глибини регіональними розривами-розломами з надвисокими тисками протягом короткого проміжку часу, що також не узгоджується з вченням про нафтогазоносні басейни.

1. *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.
2. *Сворень Й. М., Наушко І. М.* Термобарометрія і геохімія газів прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій – природний феномен літосфери Землі // *Доп. НАН України.* – 2005. – № 2. – С. 109–113.
3. *Чебаненко І. І., Шестопалов В. М., Базрій І. Д., Палій В. М.* Розломні зони підвищеної проникності гірських порід та їх значення для виявлення екологічнонебезпечних ділянок // *Там само.* – 2000. – № 10. – С. 136–139.
4. *Сворень Й. М.* Физико-химическая модель синтеза углеводородов и способ геохимического поиска залежей // *Газо-химические методы поисков полезных ископаемых в Южно-Каспийской впадине и обрамляющих горных системах.* – Баку: Б.и., 1989. – С. 165–167.
5. *Наушко І. М., Сворень Й. М.* О важности глубинного высокотемпературного флюида в создании условий для формирования месторождений природных углеводородов в земной коре // *Материалы VI Междунар. конф. “Новые идеи в науках о Земле” (Москва, 8–12 апр. 2003 г.).* – Москва: Б.и., 2003. – Т. 1. – С. 249–250.
6. *Сворень Й. М., Наушко І. М.* Роль адиабатических явлений в процессах накопления-концентрации и превращения углеводородсодержащих веществ в литосфере Земли // *Материалы VI Междунар. конф. “Новые идеи в науках о Земле” (Москва, 8–12 апр. 2003 г.).* – Москва, Б.и., 2003. – Т. 1. – С. 257–258.
7. *Сворень Й. М.* Примеси газов в кристаллах минералов и других твердых телах, их способы извлечения, состав, форма нахождения и влияние на свойства веществ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / АН УССР. Ин-т геологии и геохимии горюч. ископаемых. – Львов, 1984. – 20 с.
8. *Флюїдний режим мінералоутворення в літосфері (в зв'язку з прогнозуванням корисних копалин) / М. Д. Братусь, М. М. Давиденко, І. М. Зінчук, В. А. Калюжний, О. Д. Матвієнко, І. М. Наушко, Н. Е. Пірожик, Л. Р. Редько, Й. М. Сворень.* – Київ: Наук. думка, 1994. – 192 с.
9. *Сворень Й. М., Наушко І. М., Куровець І. М., Крупський Ю. З.* Термобарометрія і геохімія газів прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій: проблема генезису та пошуку вуглеводнів // *Доп. НАН України.* – 2005. – № 3. – С. 115–120.
10. *Возняк Д. К., Грицик В. В., Квасниця В. М., Галабурда Ю. А.* Про включення нафти в “мармарошських діамантах” // *Доп. АН УРСР. Сер. Б.* – 1973. – № 12. – С. 1059–1062.

11. Братусь М. Д., Даниш В. В., Сворень Й. М. Вуглеводневі сполуки гідротермальних утворень Карпат // Там само. – 1981. – № 7. – С. 3–6.
12. Дудок И. В. Минералого-геохимические особенности жильных образований флишевых отложений Украинских Карпат (в связи с нефтегазоносностью): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / АН УССР. Ин-т геологии и геохимии горюч. ископаемых – Львов, 1991. – 19 с.
13. Чекалюк Э. Б., Филяс Ю. И. Водо-нефтяные растворы. – Киев: Наук. думка, 1977. – 128 с.
14. Ладыженский Н. Р. К вопросу о времени формирования нефтяных месторождений Карпат // Геол. сб. Львов. геол. о-ва. – 1961. – 7./8. – С. 79–88.
15. Сворень Й. М., Наушко І. М. Нова теорія синтезу і генезису природних вуглеводнів: абіогенно-біогенний дуалізм // Доп. НАН України. – 2006. – № 2. – С. 111–116.

Інститут геології і геохімії горючих копалин  
НАН України, Львів

Надійшло до редакції 12.03.2007

УДК 551.466.8

© 2007

А. А. Слепышев, А. В. Носова

## Транспорт наносов внутренними волнами

(Представлено членом-корреспондентом НАН Украины Л. В. Черкесовым)

*In the Boussinesq approximation, the mean flows induced by a wave through nonlinearities in the presence of eddy viscosity are determined for internal waves. The boundary layer solutions, decrement of fading of a wave, and tangential stress at the bottom are determined. The bottom concentration of wave-suspended sediments is obtained when the bottom stress exceeds a critical value. The vertical distribution of the concentration of sediments is determined in the diffusion approximation.*

Транспорт наносов обычно связывают с поверхностными волнами, однако их влияние распространяется до глубин, которые составляют половину длины волны [1], т. е. 20–30 м в Черном море. На больших глубинах отмечается сильное проявление внутренних волн. Определению среднего течения, индуцируемого пакетом внутренних волн за счет нелинейности без учета турбулентной вязкости и диффузии посвящена статья [2]. Вертикальные потоки тепла, соли, импульса с учетом турбулентной вязкости находим в работе [3]. В настоящем сообщении описано определение горизонтальных средних течений, индуцированных волной за счет нелинейности с учетом турбулентной вязкости и диффузии; в диффузионном приближении — нахождение вертикального распределения концентрации наносов, взвешенных волной при превышении тангенциальными напряжениями критических значений, соответствующих началу движения наносов.

**Постановка задачи.** Рассматриваются свободные внутренние волны в приближении Буссинеска при реальной стратификации и постоянных коэффициентах турбулентного обмена. Исходная нелинейная система уравнений гидродинамики для волновых возмущений с учетом турбулентной вязкости и диффузии решается асимптотическим методом многомасштабных разложений [1]. В первом порядке малости по крутизне волны находим решение линейного приближения и дисперсионное соотношение. Во втором порядке малости по