

І. М. Наумко, І. М. Куровець, Б. Е. Сахно, П. С. Чепусенко

**Комплексування мінералофлюїдологічних і петрофізичних методів: нетрадиційний підхід до вивчення порід-колекторів вуглеводнів (на прикладі Львівського палеозойського прогину)**

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

*Показано, що за мінералофлюїдологічними і петрофізичними показниками, враховуючи насамперед флюїдонасиченість надр (особливо в межах субвертикальних геофлюїдодинамічних структур), яка фіксується термобарометрією і геохімією газів прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій, а також позитивні геодинамічні критерії, перспективи нафтогазоносності на даному етапі слід пов'язувати з північним заходом регіону.*

Понад сорок років у перспективному з нарощування запасів надр регіоні України — Львівському палеозойському прогину проводилися пошуково-розвідувальні роботи з метою відкриття покладів нафти та газу. Незважаючи на це, тут відкрито лише два незначні за розмірами родовища газу: Великомоствське і Локачинське [1]. Однією з причин низької ефективності пошуків слід вважати відсутність надійних і достовірних критеріїв прогнозу порід-колекторів та наявності у них вуглеводнів. Нафтогазоносність прогину пов'язана зі складнопобудованими породами-колекторами (тріщинуватими, кавернозними, кавернозно-тріщинуватими тощо) вуглеводнів, які характеризуються складною будовою порового простору, значною мінливістю мінерального складу і типом флюїдонасиченості, високим ступенем літологічної неоднорідності та нерівномірним розподілом у розрізі й по площі.

Наш досвід [2, 3] свідчить про те, що успішний прогноз покладів вуглеводнів у цьому випадку можливий за комплексним підходом до складнопобудованих порід-колекторів вуглеводнів як до системи, що формувалася у часі й просторі та складена із взаємопов'язаних елементів. Для їхнього достовірного вивчення необхідним є комплексування мінералого-геохімічних і літолого-петрографічних, палеонтолого-палеобіномічних, літологічних, структурно-палеоморфологічних, петрофізичних, гідродинамічних досліджень та даних розвідувальної і промислової геофізики тощо.

У запропонованому нами нетрадиційному комплексі методів вивчення порід-колекторів [4] вдало поєднано методи мінералофлюїдології [5], за допомогою яких встановлюють наявність вуглеводнів у перспективних структурних формах, що сприяє відтворенню етапів генерації, міграції й акумуляції вуглеводневмісних флюїдів (за включеннями у мінералах) [6], та геофізичні методи, якими фіксують сприятливі для локалізації покладів вуглеводнів геологічні структури-пастки і визначають сучасні фільтраційно-ємнісні властивості порід [7]. Це дає змогу отримати достовірні дані щодо будови та перспектив нафтогазоносності досліджуваних геологічних розрізів.

У повідомленні наведено результати виконаних з цією метою комплексних досліджень архейсько-протерозойських і палеозойських відкладів Лудинської, Володимирівської, Лока-

чинської, Великомоствівської, Західнобучацької структур Львівського палеозойського прогину (з наголосом на різновікових рифових спорудах силурійського і девонського періодів).

Для виміру петрофізичних параметрів відкритої пористості, проникності, об'ємної маси, карбонатності складнопобудованих порід-колекторів вуглеводнів застосовували загальновідомі методичні прийоми з деякими доповненнями авторів як на стандартному, так і на спеціально спроектованому з цією метою обладнанні [8].

Склад летких компонентів флюїдних включень у мінералах і закритих пор порід, їхні відносні газонасиченість ( $\Delta P$ ) і водонасиченість ( $C_{H_2O}$ ) визначали мас-спектрометричним хімічним методом [5].

Характер вторинних змін і колекторські властивості архейсько-протерозойських роговообманкових гранітів у параметричній св. 3-Бучацька (інт. 2180–2248 м) з відкритою пористістю 2,58%, відсутньою проникністю за газом, об'ємною масою 2,64 г/см<sup>3</sup> (табл. 1) та результати інтерпретації матеріалів ГДС вказують на малу ймовірність присутності розущільнених тріщинуватих інтервалів, якими могла б здійснюватися міграція вуглеводнів. У складі летких компонентів включень і закритих пор гранітів азот різко переважає (80,1% за об'ємом) над метаном, характерна наявність аргону, вище за розрізом (практично у корі звітрування) домінують діоксид вуглецю й азот (див. табл. 1). Тому, хоча породи кристалічного фундаменту — роговообманкові граніти та їхня кора звітрування і є відносно водонасиченими (65,2–70,4% за об'ємом), однак у них діяльність вуглеводне-водних флюїдів не проявилася і їхні релікти у вигляді включень вуглеводнів не збереглися.

Водночас аркозові невідсортовані гравелітисті пісковики з істотною сульфідною мінералізацією (пірит, халькопірит, галеніт, сфалерит) та оксидами заліза, що вивершують в інтервалі від 2158 до 2180 м розріз архейсько-протерозойських відкладів у цій свердловині, викликають більшу зацікавленість як можливі складнопобудовані колектори з вторинною пористістю (відкрита пористість 3,02%, проникність за газом відсутня, об'ємна маса 2,63 г/см<sup>3</sup>), ніж роговообманкові граніти. У закритих порах цих пісковиків власне і зростає частка метану (до 39,9% за об'ємом). Встановлено також порівняно високі вмісти CO<sub>2</sub> (59,2% за об'ємом) і пари води (67,5% за об'ємом) (див. табл. 1).

Відклади кембрію за літологічним складом і структурно-текстурними особливостями аналогічні на всіх вивчених структурах Львівського палеозойського прогину і подібні до вмісних порід Шюпарайського нафтового родовища (Литва), дещо відрізняючись від останніх рівнем розвитку тріщинуватості. Так, кварцові пісковики й алевроліти у св. 15-Лудинська характеризуються низькими значеннями відкритої пористості (1,2–3,2%) і відсутністю первинної міжзернистої пористості, а також наявністю як стилітових тріщин, виповнених темноколірною полімінеральною речовиною з ознаками рухомих бітумів, так і внутрішньозернистих тріщин, які є спільними для кількох зерен. Близькими до них виявилися властивості кварцових пісковиків св. 2-Володимирівська, однак з дещо вищою відкритою пористістю (до 9,9%). Відкрита пористість кварцових пісковиків у св. 3-Бучацька змінюється від 0,42 до 2,57%, лише у двох зразках вона досягнула значень 6,23 і 6,55% (інт. 1731–1736 м) (див. табл. 1). У цих свердловинах теж встановлено безпосередні ознаки наявності легких вуглеводнів у системах порожнин, що поєднують пори, тріщини, каверни. За ступенем вторинної перетворюваності породи перебувають на стадії пізнього катагенезу. Окварцування і зрощення уламкових зерен кварцу підвищує крихкість порід та сприяє розвитку процесів тектонофізичного тріщиноутворення і формування складнопобудованих порід-колекторів із вторинною пустотністю тріщинного і порово-тріщинного типів. Це

Таблиця 1. Матеріали до зведеної характеристики складнобудованих порід-колекторів за розрізом параметричної свердловини 3-Бучацька у Львівському палеозойському прогині

Номер зразка свердловини	Інтервал відбору, м	Назва порід	Вік	Колекторські властивості порід				Флюїдні вclusions у мінералах і закриті пори порід, за даними хімічної мас-спектрометрії*					
				Відкритість, за н. у, $K_p^B$ , %	Проникність за гасом, $K_{пр}$ , $1 \cdot 10^{-15}$ м <sup>2</sup>	Об'ємна вага, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Карбонатність, С, %	Склад летких компонентів, % за об'ємом**				Відносна газонасиченість, $\Delta P$ , Па***	Відносна водонасиченість, $C_{H_2O}$ , %****
								CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Ar		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3-25	1000-1006	Вапняк уламковий глинистий	S	0,72	Непроникний	2,70	42,0	0,5	—	99,5	—	0,63	—
3-32	1028-1034	Вапняк біоморфний зі скелетними рештками трилобітів	S	1,02	Те саме	2,70	61,0	1,2	—	98,8	—	0,20	—
3-32	Те саме	Виділення кальциту у вапняку	—	—	—	—	—	—	—	100,0	—	0,57	+ *****
3-36	1051-1055	Вапняк біоморфний конгломератоподібний	S	0,78	Непроникний	2,71	57,0	0,1	—	99,9	—	0,75	+
3-39	1080-1084	Вапняк органогенно-уламковий	S	0,62	0,027	2,71	44,0	0,7	—	99,3	—	0,40	—
3-46	1151-1157	Вапняк уламковий глинистий	S	0,58	Непроникний	2,73	48,0	0,9	—	99,1	—	0,23	—
3-71	1453-1457	Пісковик кварцовий д/з	Є	1,46	0,00015	2,66	3,0	11,2	—	88,8	—	0,13	—
3-91	1731-1736	Пісковик кварцовий	Є	6,55	0,0021	2,52	3,0	8,9	2,1	89,0	—	0,07	—

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3-115	2101-2106	Пісковик аркозовий	PR <sub>3</sub>	2,64	Непро- никний	2,71	0,0	13,4	46,7	39,9	—	0,08	+
3-115a	Те саме	Пісковик аркозовий змінений	PR <sub>3</sub>	—	Те саме	—	—	59,2	19,4	21,1	0,3	0,40	67,5
3-116	2159-2153	Кора звірювання кислих порід	AR + + PR	3,02	Те саме	2,63	2,0	—	85,4	14,6	—	0,27	70,4
3-117	2208-2213	Граніт рогово- обманковий	AR + + PR	2,58	Те саме	2,64	1,0	—	80,1	18,8	1,1	0,23	65,2

\* Аналітик Б. Е. Сахно (мас-спектрометр МСХ-3А); \*\* проба мінералу (породи) вагою 200 мг подрібнювалася способом роздавлювання у вакуумованій до величин порядку  $1 \cdot 10^{-3}$  Па напускній системі мас-спектрометра; \*\*\*  $\Delta P$  — приріст тиску в напускній системі мас-спектрометра (відносно залишкового тиску порядку  $1 \cdot 10^{-3}$  Па), що створюється внаслідок вивільнення легких компонентів з включень під час подрібнення проби мінералу (породи), може бути порівняльною величиною для однакових наважок; \*\*\*\*  $C_{H_2O}$  — вміст пари води у загальному об'ємі вивільнених легких компонентів; \*\*\*\*\* ймовірно, пара води присутня.

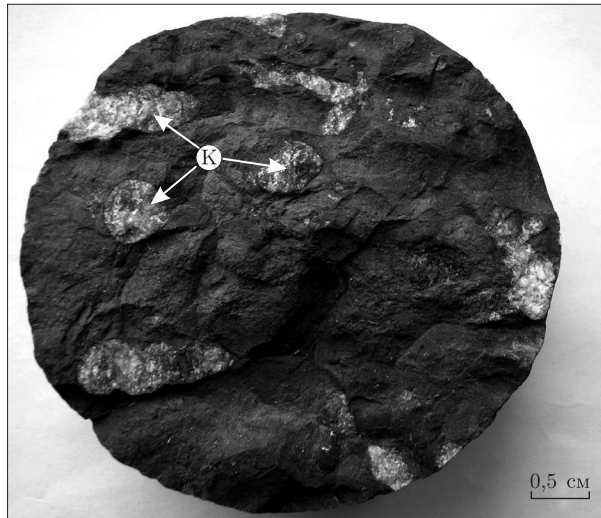


Рис. 1. Виділення кальциту (К) у біоморфних вапняках силуру. Св. 3-Бучацька, інт. гл. 1028–1034 м, зр. 3–32

відповідає висновкам про вторинну природу порового простору кембрійських окварцованих порід Львівського палеозойського прогину [7] та можливу локалізацію покладів вуглеводнів.

У складі летких компонентів флюїдних включень у мінералах і закритих пор пісковиків (див. табл. 1) переважає метан (88,8–89,0% за об'ємом) за незначної відносної газонасиченості та відсутності пари води (св. 3-Бучацька).

Силурійські рифові відклади представлені вапняками, зокрема біогермними зі скелетними рештками трилобітів і виділеннями кальциту (рис. 1). Їхні значення відкритої пористості у св. 15-Лудинська становлять 0,75–4,3%, а для вапняків у св. 3-Бучацька — 0,37–3,02%, вапнистих аргілітів, які перекривають рифове тіло, — 1,11–5,41%, мергелів і глинистих вапняків — 0,18–1,19%. Породи є практично непроникними, лише для окремих зразків вапняків у св. 3-Бучацька проникність за газом досягає величини  $0,08 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ , вапнистих аргілітів —  $0,0032 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$  (див. табл. 1). Найявні випадки залікування субвертикальних тріщин кальцитом, рідше бітумами і полімінеральною речовиною (рис. 2).

Відзначимо, що вищенаведені цифри відображають лише пористість або проникність матриці (скелета) породи, а не петрофізичні властивості складнобудованих колекторів з вторинною пористістю у пластових умовах через значну неоднорідність літологічного складу та істотну мінливість петрофізичних параметрів за вертикаллю і латераллю. Крім того, очевидно, внаслідок розкриття систем літогенетичних тріщин у процесі вивітрювання та ерозії відкладів верхнього лудл'юву-жєдину [1] вони перетворилися у крихкі породи, що при винесенні на поверхню розсипаються. Тому дослідити вдалося лише щільні відміни порід з керна. Ці фактори і стали імовірною причиною того, що наведені дані неповною мірою можуть репрезентувати потужний (552 м) глинисто-карбонатний розріз рифових відкладів.

Склад летких компонентів флюїдних включень у мінералах і закритих пор у вапняках силуру за розрізом св. 3-Бучацька стабільний: метан 98,8–99,9% за об'ємом, діоксид вуглецю 0,1–1,2% за об'ємом, а відносна газонасиченість дещо вища порівняно з кембрійськими відкладами (0,20–0,75 Па), однак відсутня пара води (див. табл. 1). У включеннях у кальциті з виділень у вапняку метан становить 100,0% за об'ємом.

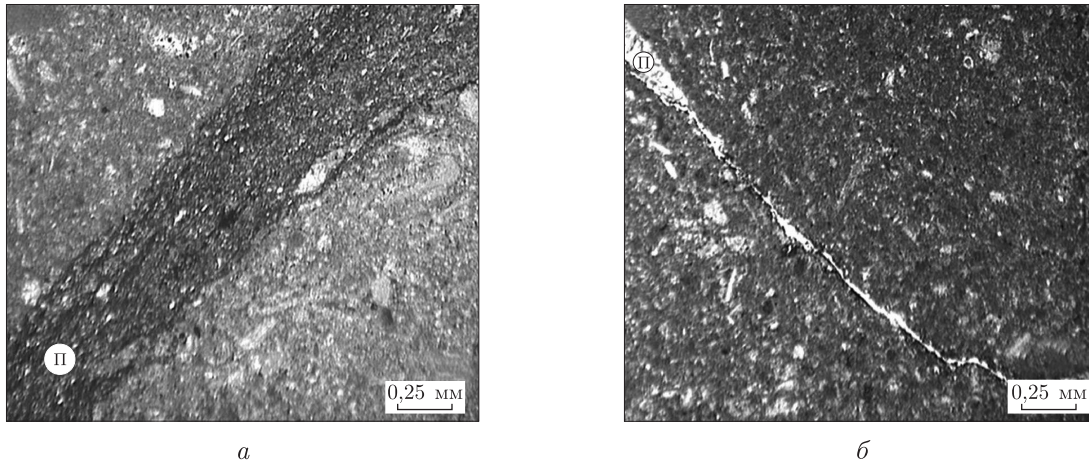


Рис. 2. Прожилки (П) у глинисто-карбонатних породах силуру, складені кальцитом, полімінеральною речовиною і бітумами.  
Св. 3-Бучацька, інт. гл. 1051–1055 м: *a* – зр. 3–36, ніколі+; *б* – зр. 3–38, ніколі ||

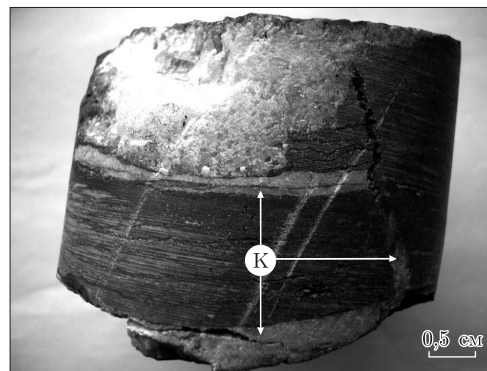


Рис. 3. Прожилки кальциту (К) у вапняках верхнього девону. Св. 10-Лудинська, інт. гл. 1150–1158 м, зр. 10-69/1

Органогенно-детритові перекристалізовані і ангідритизовані вапняки з інтервалу від 1010 до 1012 м св. 15-Лудинська, що віднесені до відкладів передрифових фацій верхнього девону, теж є непроникними, слабо пористими (0,8–2,0%), щільними (з густиною, яка дорівнює 2,67–2,73 г/см<sup>3</sup>) породами.

Флюїдні включення у кальциті з прожилку у вапняках верхнього девону (рис. 3) з близького інтервалу (1150–1158 м) св. 10-Лудинська містять, % за об'ємом: метан 89,6; CO<sub>2</sub> 10,4. Вони, на відміну від зразків св. 3-Бучацька, мають значно вищі значення відносних газонасиченості (4,0 Па) і водонасиченості (92,5% за об'ємом).

У підсумку, аналізуючи результати комплексного мінералофлюїдологічного і петрофізичного вивчення перспективно нафтогазоносних осадових шарів Львівського палеозойського прогину, можна дійти таких висновків:

У складі летких компонентів флюїдних включень у мінералах і закритих пор порід палеозою переважає метан. Для північного заходу прогину (св. 10-Лудинська) характерною є кореляція високого вмісту цього компонента з високими значеннями відкритої пористості порід та відносних газо- і водонасиченості флюїдних включень у мінералах і закритих порах

порід. У південно-західній частині регіону (наприклад, св. З-Бучацька) відносний вміст метану співмірний з низькою відносною газонасиченістю і відсутністю пари води у включеннях (остання з'являється лише у породах кристалічного фундаменту: роговообманкових гранітах та їхній корі звітрювання). Тут, на наш погляд, для синтезованих у середовищі глибинного високотемпературного флюїду [9] вуглеводнів, які мігрували у складі вуглеводне-водної системи розломними зонами з глибинних горизонтів, не було умов для нагромадження і локалізації у пастках з утворенням покладів-родовищ, тому вони розпорозувалися в осадовій товщі, зокрема у межах Західнобучацької структури, за одним з механізмів [10].

Внаслідок дії регіонального прогресивного стадійного катагенезу [7] досліджені товщі палеозою інтенсивно ущільнювалися, набуваючи високих значень об'ємної ваги, відносно низьких значень відкритої пористості та проникності аж до практично непроникних. Явищ міжстадійного (локального) катагенезу (гіпогенний алогенез, дилатансія, солітони, тектонічне і літологічне тріщиноутворення) у вивчених зразках не зафіксовано. Ці породи лише за певних умов могли слугувати породами-колекторами, бо механічне ущільнення і такі геохімічні зміни мінеральної речовини, як контактне розчинення зерен кварцу з подальшим зрощенням їхніх довгих контактів, регенерація й конформно-інкорпораційне з'єднання та, в окремих випадках, виповнення первинних пор і пустот епігенним кальцитом приводили до поступового скорочення первинного міжзернистого порового простору аж до повного закриття або виповнення його новоутвореними мінералами.

Приплив глибинних флюїдів стимулював і посилював постседиментогенні перетворення порід насамперед заліковування тріщин карбонатно-кремнеземистою речовиною й скремеління. Це сприяло розвитку процесів тектонофізичного тріщиноутворення і формування складнобудованих порід-колекторів із вторинною пористістю тріщинного і порово-тріщинного типу. Проте умови для заповнення цих вторинних порід-колекторів мігрувальним водонафтовим флюїдом, що виникали, надалі могли не зберігатися. Явища ж формування кавернозності як процесу покращення колекторських властивостей, що міг би реалізуватися завдяки насиченню середовища діоксидом вуглецю, розчиненню частини кальциту і винесенню його за межі ймовірних покладів, не отримали повсюдного поширення, що підтверджує фактична відсутність  $\text{CO}_2$  у складі легких компонентів включень.

Отже, за мінералофлюїдологічними і петрофізичними показниками, враховуючи і позитивні геодинамічні критерії [11], перспективи нафтогазоносності регіону на даному етапі слід пов'язувати з його північним заходом, де, вірогідно, існували умови для міграції вуглеводне-водних флюїдів в зонах підвищеної флюїдопроникності (особливо у межах субвертикальних флюїдопровідних (геофлюїдодинамічних) структур [12, 13]) та їхньої локалізації головним чином у пастках, складених вторинними складнобудованими породами-колекторами. Отримані нами результати разом з даними статті [14] вказують на ймовірність знаходження тут, у геологічних умовах, близьких до Локачинського газового родовища, покладів метанового складу. Оскільки вони визначаються насамперед флюїдонасиченістю надр, зафіксованою термобарометрією і геохімією газів прожилково-вкрапленої мінералізації у відкладах нафтогазоносних областей і металогенічних провінцій [6, 15], то для її уточнення слід залучити у регіональному масштабі методи мінералофлюїдології, поєднуючи їх з методами петрофізики.

1. *Нефтегазоносные провинции Украины* / Отв. ред. В. К. Гавриш. – Киев: Наук. думка, 1985. – 172 с.
2. Куровець І., Притулка Г., Шеремета О. та ін. Петрофізичні моделі складнобудованих колекторів вуглеводнів // Геологія і геохімія горюч. копалин. – 2006. – № 3./4. – С. 119–139.

3. *Наушко І., Калюжний В., Сворень Й. та ін.* Флюїди постседиментогенних процесів в осадових та осадово-вулканогенних верствах південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи і прилеглих геоструктур (за включеннями у мінералах) // Там само. – 2007. – № 4. – С. 63–94.
4. *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.
5. *Калюжний В. А.* Основи учения о минералообразующих флюидах. – Киев: Наук. думка, 1982. – 240 с.
6. *Наушко 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.
7. *Куровець І., Шеремета О., Чепусенко П., Шира А.* Геолого-петрофізичні аспекти пошуків колекторів вуглеводнів у рифових відкладах Львівського палеозойського прогину // Проблеми геології та нафтогазоносності Карпат: Тези доп. Міжнар. наук. конф. до 100-річчя від дня народження члена-кореспондента УРСР М. Р. Ладиженського та 55-річчя Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України. – Львів: ТЗОВ “ПРОМАН” – “Прес-Експрес-Львів”, 2006. – С. 121–123.
8. *Пат. 80551 Україна, С2 МПК (2006) G01N 15/08.* Пристрій для визначення проникності зразка гірської породи / І. М. Куровець, О. С. Зубко, Н. О. Кіт, О. В. Гвоздевич. – Опубл. 10.10.2007 р., Бюл. Пром. власність. – 2007. – № 16.
9. *Наушко І. М., Сворень І. 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, 2003. – Т. 1. – С. 249.
10. *Наушко І. М., Сворень І. М.* О двух путях развития процесса внедрения глубинного высокотемпературного флюида в земную кору // Дегазация Земли: Геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых: Тез. Междунар. конф. (Москва, 30, 31 мая – 1 июня 2006 г.). – Москва: ГЕОС, 2006. – С. 169–171.
11. *Павлюк М., Галабуда М., Різун Б. та ін.* Геодинамічні критерії нафтогазоносності Балтійсько-Чорноморського перикратону // Геологія і геохімія горюч. копалин. – 2006. – № 3./4. – С. 5–16.
12. *Перерва В. М., Лялько В. І., Шпак П. Ф.* Флюїдопровідні структури і нафтогазоносність Азово-Чорноморського регіону // Доп. НАН України. – 1997. – № 4. – С. 136–139.
13. *Перерва В. М.* Апвеллинг над геофлюидодинамическими структурами литосферы // Там само. – 2000. – № 8. – С. 127–131.
14. *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.
15. *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.

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

*Надійшло до редакції 07.04.2008*

**I. M. Naumko, I. M. Kurovets', V. E. Sakhno, P. S. Chepusenko**

### **The complexing of mineralofluidological and petrophysical methods: a nontraditional approach to the study of carbon-reservoir rocks (by the example of the L'viv Paleozoic Depression)**

*Prospects of oil and gas presence at the given stage should be connected with the north-west of the L'viv Paleozoic Depression by mineralofluidological and petrophysical indicators by considering, first of all, the fluid saturation of depths (particularly within the limits of subvertical geofluidodynamic structures) recorded by thermobarometry and geochemistry of gases of the veinlet-impregnated mineralization in deposits of the oil- and gas-bearing areas and metallogenic provinces and positive geodynamic criteria as well.*