

шен Ж.К. Рудні мінерали Федорівського родовища фосфору та титану // Наук. праці ІФД. - 2005. - Вип. 9. - С. 65-83. 13. Ashwal L.D. Anorthosites. - Springer-Verlag Pub. Comp. - 1993. 14. Duchesne J.C. Fe-Ti deposits in Rogaland anorthosites (South Norway): geochemical characteristics and problems of interpretation // Mineralium Deposita. - 1999. - V. 34. - P. 182-198. 15. Duchesne J.C. The Rogaland intrusive massifs, an excursion guide // NGU report 2001.29: Geological survey of Norway. -Trondheim, 2001. 16. Duchesne J.C., Shumlyansky L.V., Charlier B. The Fedorivka layered intrusion (Korosten Pluton, Ukraine): An example of highly differentiated ferrobasaltic evolution // Lithos. - 2006. - V. 89. - P. 353-376. 17. Force E.R. Geology of Titanium-Mineral Deposits // Special paper. Geological Society of America; 259. - 1991. 18. Gursky D., Nechaev S., Bobrov A. Titanium de-

posits in Ukraine focused on the Proterozoic anorthosite-hosted massifs // Ilmenite deposits and their geological environment : Special Publication of NGU. - Trondheim, 2003. - N 9. - P. 21-26. 19. Perreault S. Contrasting styles of Fe-Ti mineralization in the Havre-Saint-Pierre anorthosite suite, Quebec North Shore, Canada // GEODE field workshop 8-12th July 2001 on ilmenite deposits in the Rogaland anorthosite province, S. Norway: Abstracts. - P. 114-119. 20. United States Bureau of Mines, 1986, Domestic consumption trends, 1972-82, and forecasts to 1993 for twelve major metals: U.S. Bureau of Mines Open-File Report 27-86. - 1986.

Надійшла до редколегії 18.09.09

УДК 550.41

Д. Марченков, асп.

ГЕОХІМІЯ ПРОЦЕСУ ГРАНІТИЗАЦІЇ ЛИПНЯЗЬКОЇ ГРАНІТО-ГНЕЙСОВОЇ СТРУКТУРИ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Проаналізовано серію зразків, що характеризують речовинну зональність Липнязької граніто-гнейсової структури. На основі отриманих даних зроблено висновки щодо міграції хімічних компонентів в її межах. Підтверджено припущення про утворення порід центральної частини ядра за рахунок рівноважного часткового плавлення порід зовнішньої частини ядра структури.

Series of samples had been analyzed. They define structural-substantial zoning of Lypnyajka granite-gneiss structure. Findings allow to make interferences about bringing in and carrying out some elements from structure core to its outskirts. Assumption about formation of some rocks from the central part of structure core following to rocks equilibrium partial melting of the structure core outskirts is verified.

Вступ. Серед областей розвинення докембрійських утворень, до яких належить й Український щит, значні об'єми купольних та моноклінальних структур складені порфіробластичними мігматитами і граніто-гнейсами, а також порфіровидними гранітоїдами. Головною їх структурно-текстурною особливістю є розвиток орієнтованих мегакристалів калієвого польового шпату (КПШ) в ядрових частинах об'єктів. Генезис породних різновидів таких структур є остаточно невизначеним і потребує детального дослідження. В межах УЩ одним з яскравих прикладів таких утворень є Липнязька граніто-гнейсова структура (ЛГГС).

Аналіз попередніх досліджень, постановка проблеми. Незважаючи на значний обсяг геологічних робіт, які проводились в межах ЛГГС, на сьогоднішній день немає чіткої інтерпретації щодо її геологічної будови. Свідченням цьому є її різні трактування: наприклад, у [7] в межах масиву виділяється ряд антикліналей та синкліналей; в [13, 4] дослідники розглядають її, як гранітоїдний купол; в [5] ЛГГС описана як граніт-мігматитовий масив; в [2] ЛГГС розглядається як зональний масив із моноклінальною будовою.

Дискусійними є також питання щодо стратиграфії регіону. Згідно з [3], різні за складом гнейси відносяться до кам'яно-костоватської та рошачівської світ Інгуло-Інгулецької серії раннього протерозою. Проте ряд дослідників, такі як В.П. Кирилюк [6], І.М. Беліченко [1] та ін., вважають їх віковими аналогами порід архейського фундаменту, регресивно метаморфізованими в ранньому протерозої, а плагіограніти умовно відносять до Інгульського ультраметаморфічного комплексу середнього архею.

В останні роки ЛГГС детально досліджувалась з позицій тектоно-структурного аналізу та в петрографічному відношенні [2, 9, 10]. На основі цих досліджень виділяється *плагіогнейсова рама*, представлена породами кам'янокостоватської, рошачівської світ раннього протерозою та утвореннями тетіївського комплексу середнього архею, *мігматитова кайма* та *граніто-гнейсове ядро з апліт-пегматоїдними утвореннями та пегматитами* [11]. Разом з тим, структура недостатньо вивчалась в геохімічному відношенні, зок-

рема остаточно невизначеним є механізм утворення породних різновидів ядра ЛГГС.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є дослідження міграції елементів в межах ЛГГС, зокрема моделювання часткового плавлення порід ядрової частини структури, з метою подальшого з'ясування механізмів утворення її породних різновидів.

Виклад основного матеріалу. В адміністративному відношенні ЛГГС розташована в межах Добровеличківського району Кіровоградської області, південніше с. Липняжка. Згідно з існуючим геолого-структурним районуванням кристалічного фундаменту УЩ, ЛГГС знаходиться в центральній частині Братської структурно-формаційної підзони Інгуло-Інгулецької структурно-формаційної зони [11]. Липнязький граніт-мігматитовий масив просторово співпадає з Новолутковським блоком, структурно - із замковою частиною Михайлівської антиклінали. Масив протяжністю 20 км та шириною 7 км на заході обмежений Гнатівською гілкою Марківського глибинного розлому, на півночі - Західно-Липнязьким розломом, а на сході і півдні Добровеличківським та Новомиколаївським розломами другого порядку [12, 3].

Дослідження, проведені в межах Липнязької граніто-гнейсової структури, показують, що вона характеризується зональною будовою як в речовинному, так і в структурному аспекті. Структурна зональність виражена незгідним заляганням директивних текстур порід субстрату до власне порфіробластичної сланцюватості граніто-гнейсів. Речовинно-метаморфічна зональність позначається поступовими переходами від кристалічних утворень рами, які виконують роль субстрату, до однорідних у значних об'ємах, зазвичай виразно сланцюватих, порфіробластичних граніто-гнейсів. Формування вище зазначеної структурно-речовинної зональності можливе завдяки тісному взаємозв'язку метасоматичних та деформаційних процесів [8].

Для досліджень були відібрані зразки, які репрезентативно характеризують плагіогнейсову раму та зовнішню і внутрішню частини граніто-гнейсового ядра з апліт-пегматоїдними утвореннями.

Гнейсова рама структури представлена амфіболітовими утвореннями, а також широко розповсюдженими

середньо-крупнозернистими біотит-роговообманковими, кордієрит-біотитовими, гранат-кордієрит-біотитовими і біотитовими плагіогнейсами, мінеральний склад яких варіює в таких межах (об. %): *плагіоклаз* (Al_{20-30}) – 20-60 (у середньому 40), *кварц* – 10-45 (у середньому 30), *біотит* – 7-45 (у середньому 20), *рогова обманка* – 27-30 (поширена переважно в біотит-роговообманкових гнейсах), *кордієрит* – 4-5, акцесорні (*монацит*, *апатит*, *епідот*, *циркон*) та *мусковіт* розповсюджені вкрай нерівномірно.

Зовнішня частина ядра ЛГГС представлена достатньо витриманими за структурно-текстурними характеристиками порфіробластовими граніто-гнейсами. Мінеральний склад змінюється в таких межах (об. %): *КПШ* – 35-60 (у середньому 40), *кварц* – 30-35, *біотит* – 3-30 (у середньому 10-15), *гранат* – 2, *кордієрит* – 2, *плагіоклаз* – 1-2, акцесорні – *апатит*, *циркон*, *рудні мінерали та мусковіт*.

Характерною особливістю *внутрішньої частини ядра структури* є широкий розвиток невеликих за розмірами тіл, представлених гранатвмісними, лейкократовими, середньозернистими гранітами. Їх мінеральний склад варіює в наступних межах (об. %): *КПШ* – 35-75 (у середньому 45-50), *кварц* – 20-40 (у середньому 25), *плагіоклаз* (Al_{10-15}) – 5-25 (у середньому 20), *гранат* – 4-5, *біотит* – 4-7, акцесорні – *циркон*, *апатит* та *рудні мінерали*.

Вміст головних (петрогенних) та домішкових елементів у відібраних зразках, які репрезентують композиції порід плагіогнейсової рами (зразки 311/1, 217, 205) та граніто-гнейсового ядра (зразки 239/7, 246, 307/2, 300, 250, 305/1), визначався методом рентгено-флуоресцентного аналізу в Лабораторії рентгенівських і мікроскопічних досліджень мінеральної речовини кафедри мінералогії, геохімії та петрографії геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

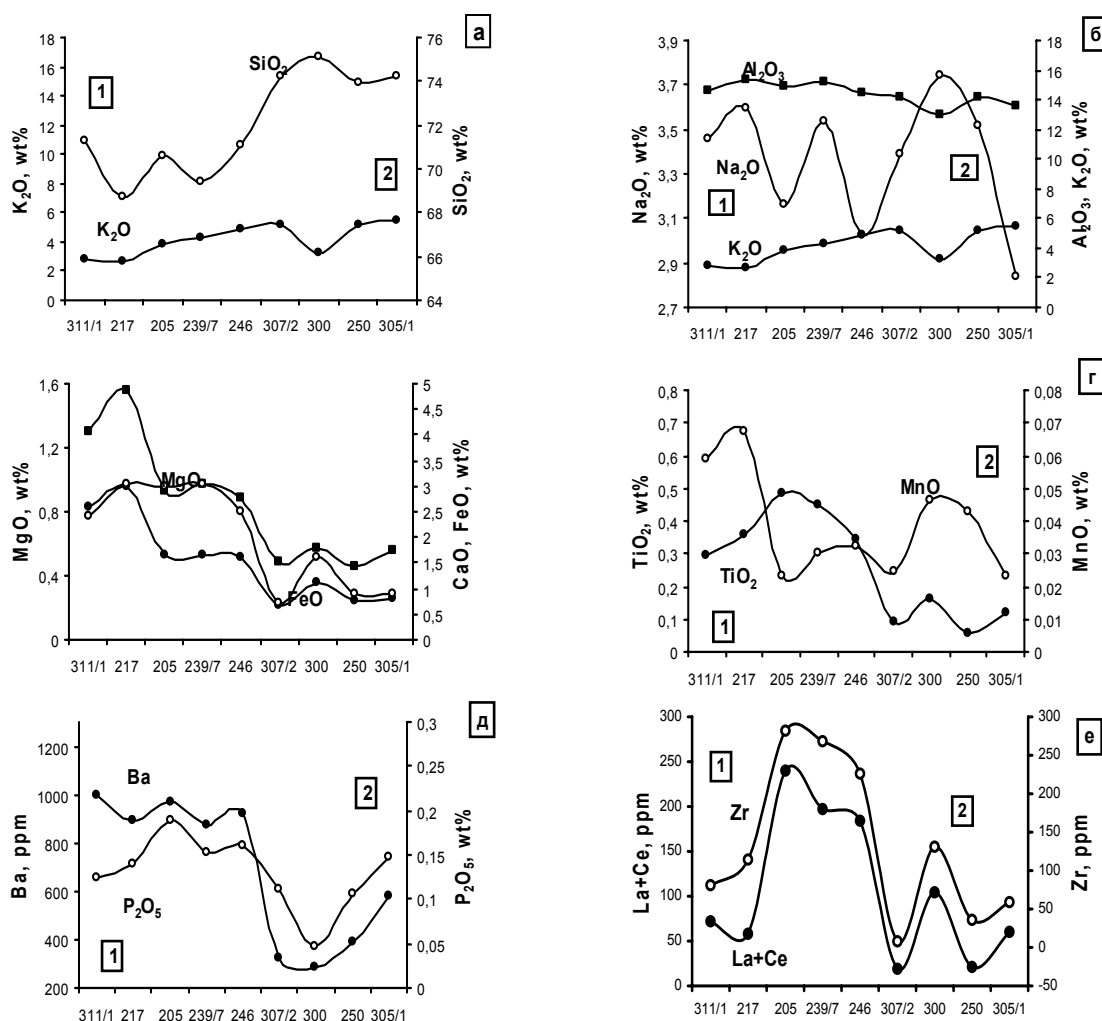


Рис. 1. Зміна концентрацій елементів в породних різновидах ЛГГС в напрямку від плагіогнейсової рами (1) до граніто-гнейсового ядра (3)

В результаті досліджень встановлені наступні головні закономірності поведінки елементів в процесі еволюції порід гранітоїдного складу ЛГГС:

- Привнесення калію та кремнію з плагіогнейсової рами в ядро ЛГГС (рис. 1а).
- Винесення фемічних компонентів з ядрової частини з подальшим їх накопиченням в суміжних ділянках плагіогнейсової рами (рис. 1в, 1г).
- Винесення Al_2O_3 з граніто-гнейсового ядра ЛГГС та його накопичення в плагіогнейсовій рамі (рис. 1б).

- Винесення P_2O_5 та Ba з центральної частини структури і накопичення в крайовій частині ядра та у межах плагіогнейсової рами (рис. 1д).

- Міграція La,Ce Zr із центру ядра структури в крайову його частину, а також їх винесення з подальшим накопиченням в суміжних ділянках рами структури (рис. 1е).

Виходячи з закономірностей розподілу елементів в структурних частинах ЛГГС можна розглядати гранітоїдні породи ядра як результат переробки (гранітизації) гнейсового субстрату під дією флюїдів калій-кремнієвої

спеціалізації. Зважаючи на те, що найбільша концентрація апліт-пегматоїдних утворень спостерігається в центральній частині ядра структури, можна зробити припущення щодо можливості утворення порід внутрішньої частини ядра ЛГГС (представлених зразком № 305/1) шляхом часткового плавлення порід його периферійної частини (представлених зразком № 250). Для перевірки цього припущення концентрації рідкісноземельних елементів, цирконію та барію в зразку № 250 (який за нашим припущенням найбільше відповідає композиції субстрату, що плавився) були перераховані за моделями часткового рівноважного (1) та часткового фракційного (2) плавлення [14, 15, 16, 17, 19, 20 та ін.]:

$$C = C_0^S \cdot [D \cdot (1-f) + f]^{-1}, \quad (1)$$

$$C = (C_0^S / D) \cdot (1-f)^{(1/D)-1}, \quad (2)$$

де C – концентрація елемента в розплаві (рідкій фазі системи); C_0^S – концентрації елемента у породі, що плавиться; $D = C/C^S$ – ефективний комбінований коефіцієнт розподілу мікроелемента (C^S – концентрація елемента в субстраті); f – масова доля рідкої фази (розплаву) в системі. Розрахунки проводилися для різних часток розплаву (f) в системі. Значення комбінованих коефіцієнтів розподілу елементів ($D_{Zr} = 0,045$, $D_{Ba} = 0,013$, $D_{La} = 0,018$, $D_{Ce} = 0,02$) були взяті з роботи [18]. Розраховані концентрації були порівняні з концентраціями цих же елементів в зразку № 305/1, який приймається за продукт часткового плавлення субстрату. Результати репрезентовані на рис. 2:

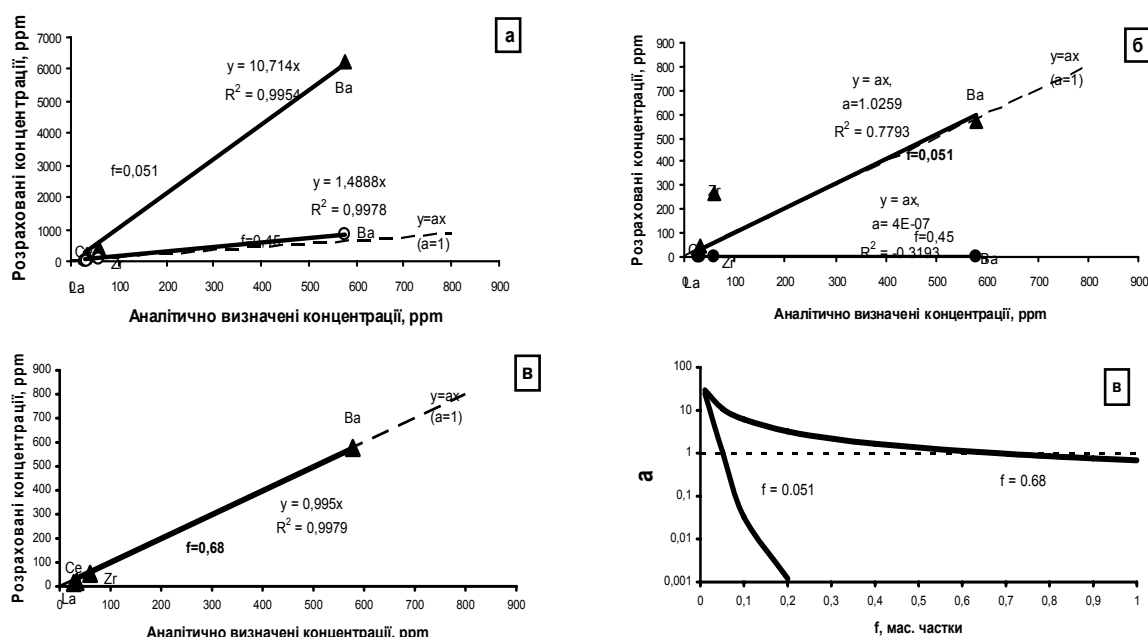


Рис. 2. Результати моделювання часткового плавлення порід ядрової частини структури:

а - модель часткового рівноважного плавлення: приклад поганої узгодженості розрахованих даних (при $f=0,45$ та $f=0,051$) до аналітично визначених концентрацій; б - модель часткового фракційного плавлення: приклад найбільшої узгодженості розрахованих даних (при $f=0,051$) до аналітично визначених концентрацій та приклад поганої узгодженості (при $f=0,45$);

в - модель часткового рівноважного плавлення: найбільша відповідність розрахованих даних (при $f=0,68$) до аналітично визначених концентрацій; г - зміна параметру a лінійного рівняння виду $y=ax$, що апроксимує залежність розрахованих концентрацій від аналітично визначених при заданих різних значеннях f

Як показують результати моделювання часткового плавлення порід ядрової частини структури, модель часткового фракційного плавлення демонструє результати, які погано узгоджуються з аналітично визначеними концентраціями навіть при досягненні значення $a = 1$ (рис. 2б). В той же час, у випадку застосування моделі часткового рівноважного плавлення із часткою розплаву $f=0,68$, розраховані концентрації рідкісноземельних елементів, Zr та Ba в породах зовнішньої частини ядра найбільше відповідають аналітично визначеним концентраціям відповідних елементів у породах внутрішньої частини ядра (рис. 2в).

Висновки. Для досліджуваної структури характерним є винесення рідкісноземельних елементів із центральної в периферійну частину ядра, а також винесення фемічних компонентів, Ba і P_2O_5 – з граніто-гнейсового ядра в периферійні частини ядра структури та суміжні ділянки плагіогнейсової рами. Таке накопичення P_2O_5 та Ba в породах мігматитової кайми, а також фемічних компонентів і рідкісноземельних елементів в крайовій частині ядра, може характеризувати т.з. "фронт базифікації", який фо-

рмувався в ході гранітизації за рахунок винесення цих компонентів з центральних частин ЛГГС.

Таким чином, аналіз закономірностей розподілу елементів дозволяє зробити висновок щодо утворення порід ядра ЛГГС внаслідок глибокої переробки порід рами. Результати геохімічного моделювання показали високу вірогідність того, що породи внутрішньої частини ядра могли утворитись в результаті часткового плавлення порід його крайової частини. Процес, вірогідно, був наближений до моделі рівноважного часткового плавлення субстрату при $f = 0,68$.

Подальші дослідження потрібно зосередити на вивченні апліто-пегматоїдних утворень та пегматитів граніто-гнейсового ядра ЛГГС за умови високої репрезентативності опробування та залучення більшої кількості елементів до геохімічного моделювання.

Автор висловлює подяку професору В. Шевчуку за надані зразки порід Липнязької граніто-гнейсової структури, а також співробітникам Лабораторії рентгенівських і мікроскопічних досліджень мінеральної речовини кафедри мінералогії, геохімії та петрографії геологіч-

ного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

1. Беліченко О.П. // Петрогенезис гнейсових комплексів обрамлення Корсунь-Новомиргородського та Новоукраїнського масивів: Автореф. дис... канд. геол.-мін. наук. - К., 1997. 2. Грінченко О.В., Кочетов Р.В. // Липнязька граніто-гнейсова структура як вторинна монокліналь // Сучасні проблеми геологічної науки: Зб. наук. праць ІГН НАН України. - 2003. 3. Єсипчук К.Ю., Бобров О.Б., Степанюк Л.М. та ін. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита: Пояснювальна записка. - К., 2004 4. Іванов Б.Н., Лисенко В.В., Маківчук О.Ф. та ін. Екзоконтактові метасоматити літєвих гранітних пегматитів Шполянсько-Ташликського рідкісно-метального рудного району // Мінеральні ресурси України. - 2000. - № 4. 5. Ляхов Ю.В., Павлух Н.Н., Пізнюр А.В., Попівняк І.В. Термобарогеохимия золота (прогнозирование, поиски и оценка оруденения). - Львов, 1995. 6. Попівняк І.В., Ніколенко А.Є., Пізнюр А.В. та ін. // Фізико-хімічні умови та послідовність формування руд Східно-Юрйського родовища (за даними вивчення включень у мінералах) // Мінерал. зб. - 1995. - № 48, Вип. 1 7. Труцько Ф.В. и др. Геологическая карта масштаба 1:50000 листа М-36-135 А, Б: Объяснительная записка). - К., 1974. 8. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Взаємозв'язок деформаційних та кристалізаційних процесів під час метаморфізму // Тектоника, металогения, минеральные ресурсы: Сб. науч. раб. ИГОС НАН И МЧС Украины. - К., 2005. - Вип. 11, Т. I и II. - С. 89-99 9. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Проблеми генетичної типізації сланцюватості // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. - 2004. - Вип. 28. 10. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Динамічні

умови формування порфіробластичної сланцюватості // Актуальні проблеми геології України: Матер. наук. конф. проф.-викл. складу до 60-річчя геол. ф-ту, 1-2 квіт. 2004 р. - К., 2004. 11. Шевчук В.В., Кочетов Р.В., Ярещенко С.П., Марченко Д.Ф. Особливості та можливі причини орієнтації порфіробластів польових шпатів в гранітоїдах Липнязької структури // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. - 2005. - Вип. 33. - 2005. 12. Щербак Н.П., Єсипчук К.Є., Берзенин Б.Э. и др. Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита. - К., 1985. 13. Яценко Г.М., Жухарев А.П., Паранько И.С. О формациях Ташлыкского зеленокаменного пояса // Петрология и корреляция кристаллических комплексов Восточно-Европейской платформы. - К., 1979. 14. Allegre C.J., Minster J.F. Quantitative models of trace element behaviour in magmatic processes // Earth and Planetary Science Letters. - 1978. - V. 38. 15. Gast P.W. Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types // Geochim. et Cosmochim. Acta. - 1968. - V. 32. 16. Greenland L.P. An equation for trace element distribution during magmatic crystallization // Am. Miner. - 1970. - V. 55. 17. Hertogen J., Gibels R. Calculations of trace element fractionation during partial melting // Geochim. et Cosmochim. Acta. - 1976. - V. 40. 18. McCulloch, Malcolm T. Bennett, Victoria C. Progressive growth of the Earth's continental crust and depleted mantle: Geochemical constraints // Geochemica et Cosmochimica Acta. - 1994 - V. 58. N. 21. 19. Neumann H., Mead J., Vitaliano C.J. Trace element variation during fractional crystallisation as calculated from the distribution law // GCA. - 1954. - V. 6. 20. Shaw D.M. Trace element fractionation during anatexis // Geochim. et Cosmochim. Acta. - 1970. - V. 34.

Надійшла до редколегії 18.09.09

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.834

С. Вижва, д-р геол. наук,
Г. Продайвода, д-р фіз.-мат. наук,
І. Віршило, канд. геол. наук

МЕТОДОЛОГІЧНІ І ТЕОРЕТИЧНІ ПРИНЦИПИ СЕЙСМОГРАВІТАЦІЙНОЇ ТОМОГРАФІЇ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

В статті розглядаються нові підходи до розв'язку спільної оберненої задачі сейсмометрії (сейсмічної інверсії) та гравіметрії. Демонструється теорія розрахунку поля розсіяних сейсмічних хвиль для багатокомпонентного тріщинуватого геологічного середовища. Показано методологію побудови сейсмогравітаційного томографічного функціоналу для блоково-неоднорідної моделі середовища. Запропоновано використання методу для розв'язку задач геології нафти і газу у регіонах розвитку колекторів в кристалічних породах.

New approach to complex seismic and gravity inverse problem solution is considered. Theory of scattering seismic waves field computing is demonstrated for multicomponent fractured geological media case. Methodology of seismo-gravity tomography functional definition is shown for block-structured model. The method proposed for resolving of oil&gas geology problems in regions with crystal-line rocks collectors.

Газова криза яскраво засвідчила, що енергетична безпека держави залежить, насамперед, від забезпечення економіки власними енергоресурсами. За прогнозними оцінками потенційні запаси вуглеводнів у надрах України складають понад 70 трлн м³. Разом з тим видобуток нафти і газу перевищує щорічний приріст їх запасів. Основними методами при пошуках нафти і газу є сейсморозвідка, геофізичні методи дослідження свердловин і пошуково-розвідувальне буріння. Все зростаюча вартість пошуково-розвідувальних робіт при швидкозростаючій вартості буріння вимагає радикального підвищення ефективності сейсморозвідувальних досліджень.

Одним із напрямків вирішення цієї проблеми, який є стрижнем пошукової парадигми провідних компаній світу, є поєднання 3-D сейсморозвідки і петрофізики в єдину технологію обробки/інтерпретації, які орієнтовані на єдиний об'єкт досліджень: породо-колектор і флюїд.

Але такий підхід добре зарекомендував себе при виявленні покладів вуглеводнів у традиційних колекторах, які на території України вивчені уже досить детально. Забезпечення необхідного приросту запасів нафти і газу вимагає переходу до розвідки складнопобудованих блокових структур і тектонічно-екранованих покладів.

Зокрема, абсолютна більшість відкритих покладів нафти і газу в породах кристалічного фундаменту тя-

жіє до зон розвитку тріщинуватих і тріщинно-кавернозних колекторів. У зв'язку з цим виключно важливою задачею є картування таких зон на етапах пошукових і розвідувальних робіт геофізичними методами. При вивченні внутрішньої будови кристалічних масивів в процесі їх розвідки на нафту і газ основний інтерес являють як зони розломів, так і об'ємні тріщинувато-кавернозні зони – колекторські резервуари, що потенційно вміщують основні накопичення вуглеводнів. Зокрема, за оцінками спеціалістів, саме в таких геологічних умовах в надрах України можна очікувати знаходження великих родовищ вуглеводнів типу "Білий тигр" (В'єтнам).

В даній роботі розглядаються нові методологічні і теоретичні підходи до вирішення цієї проблеми із урахуванням геологічних умов України і стану геофізичних досліджень. Високий рівень геофізичної вивченості території України і несприятливі інноваційно-інвестиційні умови діяльності нафтової і газової промисловості вимагають розробки нових підходів, насамперед до комплексної інтерпретації вже існуючої геофізичної інформації.

Накопичений досвід інтерпретації геофізичних даних свідчить про те, що вичерпною характеристикою розрізняльної можливості будь-якого геофізичного комплексу є структура і потужність множини допустимих