

3. Пахомов В.И. Общая теория обнаружения месторождений полезных ископаемых. - М., 2000. - 161 с.

4. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. - М.: Недра, 1977. - 144 с.

#### РЕЗЮМЕ

Виділено за допомогою петрофізичного методу для Партизанського рудного поля декілька перспективних зон зі зниженим коефіцієнтом кореляції між густиною і магнітною сприйнятливістю порід. До виділеної зони субширотного напрямку приурочені відомі рудні об'єкти. Визначено за допомогою методів структурно-парагенетичного аналізу позицію субширотної зони як закономірної відносно основних структуроутворювальних напрямів.

#### SUMMARY

Using petrophysical method for the Partizanske ore field some perspective zones with the lowered correlation coefficient between density and magnetizability of rocks have been allocated. Known ore objects are associated with allocated sublatitudinal zone. Position of sublatitudinal zone have been determined by methods of structural-paragenetic analysis as logical relatively main structure-forming directions.

КП "Кировгеология", ПЗЭ-46,  
г. Первомайск, Николаевская обл.  
buhgeo-46@mail.ru

УДК (550.4 + 552.4): 551.71 (477)

Э.А. НИКУЛИНА

## КОРРЕЛЯЦИЯ ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРХЕЙСКИХ ОСНОВНЫХ-УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД ДНЕСТРОВСКО-БУГСКОЙ ОБЛАСТИ УЩ

*Проведено сопоставление особенностей распределения порообразующих, редких и рассеянных элементов в основных - ультраосновных породах архейских гранулит-гнейсовых и зеленокаменных областей. С помощью корреляционного анализа уточняются первичные признаки пород Днестровско-Бугского района Украинского щита и характер их вторичных изменений. Выдвинуто предположение о более примитивном составе и древнем возрасте источника этих пород относительно толеит-коматитовых зеленокаменных ассоциаций*

Эталонными объектами изучения ранней истории Земли считаются древние зеленокаменные пояса и серогнейсовые области, причем сведения о последних в мировой литературе довольно ограниченные. Оригинальны только оценки возраста их пород, превышающие иногда 4 млрд лет. К таким оценкам приближаются, в частности, эндербиты Днестровско-Бугской гранулит-гнейсовой области Украинского щита (УЩ). Однако идентификации субстрата этих и ассоциирующих с ними основных пород сталкиваемся с серьезной проблемой соответствия их состава протолиту. В разработке такой проблемы особый интерес представляют работы, в которых обсуждается вероятность и условия миграционной способности элементов, включая даже такие признанные устойчивыми, как Al, Zr, редкоземельные элементы (REE) [1-5]. Авторы этих работ убедительно рекомендуют всякий раз предварять петрогенетические интерпретации определением геохимического эффекта процессов изменений. Следуя такой рекомендации, сопоставим результаты, полученные по Днестровско-Бугской области УЩ и хорошо изученным зеленокаменным поясам мира, с целью восстановления последовательности событий в раннем докембрии.

Прежде всего, необходимо отметить, что вариации состава основных и ультраосновных пород рассматриваемой области УЩ по главным порообразующим элементам значительно шире, по сравнению с архейскими толеит-коматитовыми ассоциациями известных зеленокаменных областей

(рис. 1). Содержание MgO в них, к примеру, изменяется от 48 до 0 %, что в случае идентичности нынешнего состояния пород их субстрату должно рассцениваться как признак интенсивно фракционированных родоначальных магм. Однако минеральный состав отражает более сложную историю формирования пород - не только с магматическими, но и метаморфическими событиями прошлого [6, 7 и др.].

Широко изменяется в данных породах содержание рассеянных - сидеро-, халько-, литофильных и REE. В то же время сохраняется обогащенность такими когерентными элементами, как Sc, Ti, V, Cr, Mn и Co, Ni, наряду с Zn, Cu и положительно коррелирующими с ними Ga и Ge. По данным спектрального анализа, превышают кларковые содержания также некогерентных элементов - Ba, Sr, Zr, P и Y [8]. Не выдержаны отношения  $Al_2O_3/TiO_2$ ,  $CaO/Al_2O_3$ , Gd/Yb, La/Sm, Sm/Nd, Rb/Sr и другие известные в качестве идентификационных параметры систем, по которым обычно производится оценка источника и времени формирования пород. Какие же элементы пригодны для идентификации исходных их геохимических характеристик, то есть остаются устойчивыми при наложенных постмагматических процессах, а какие нет?

Использование корреляционного анализа поведения главных и рассеянных элементов в таком случае становится существенным критерием установления закономерностей вариаций и выявления их причин. Ниже приводятся первые результаты проведенных исследований в данном направлении, необходи-

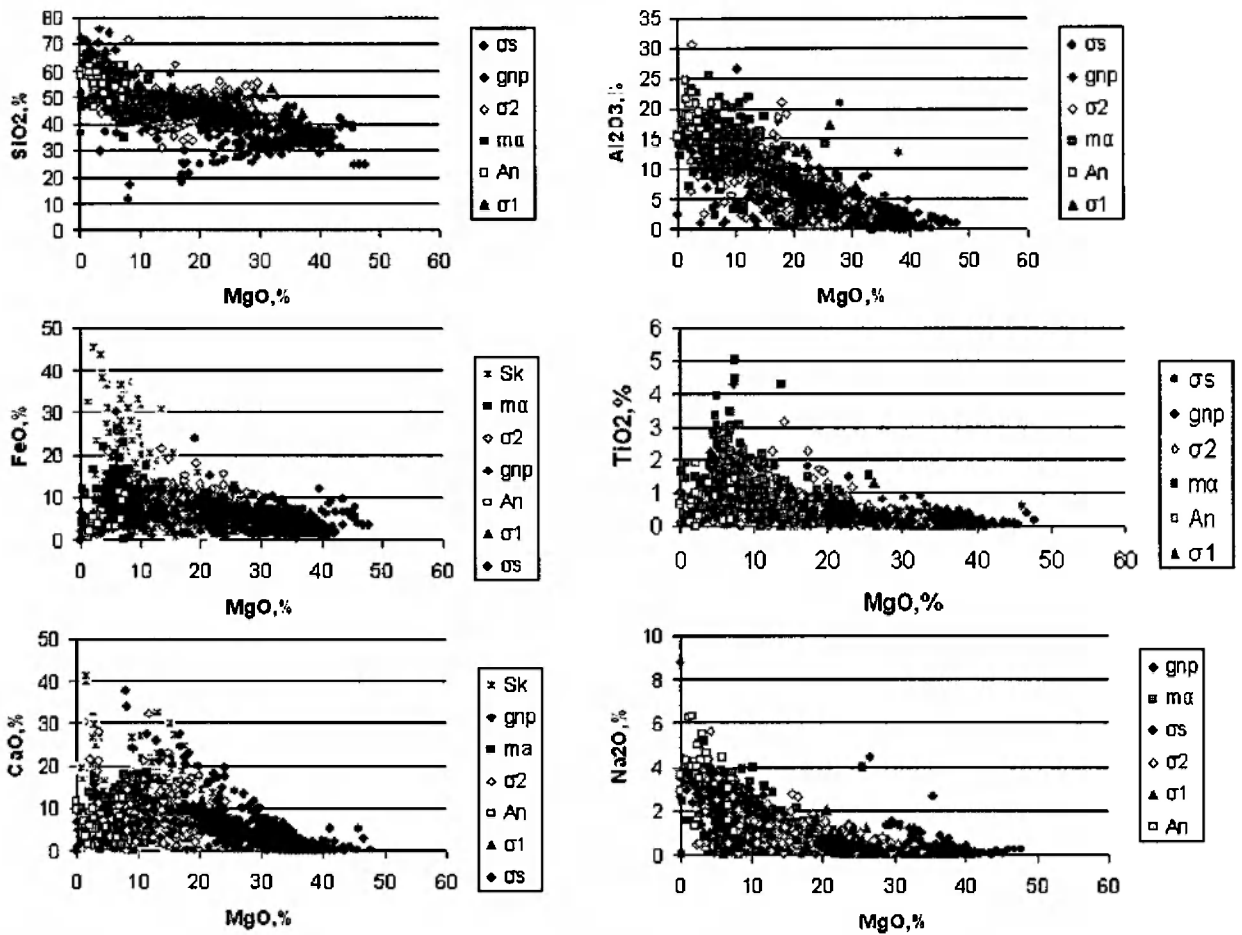


Рис. 1. Вариационные диаграммы. Условные обозначения: гипербазиты -  $\sigma_s$ ; metabазиты - gnp, mα, An; коматиитоподобные пироксенолиты -  $\sigma_1, \sigma_2$

мость продолжения и уточнения которых очевидна.

На рис. 2 представлены обобщенные данные разных авторов по распределению REE, а в таблице - числовые характеристики спектров трех групп пород основного-ультраосновного состава. Эти группы пород различаются между собой, прежде всего, по железистости и суммарному содержанию лантаноидов.

1. Мантийный источник пород подтверждается приближенными к единице нормированными отношениями Sm/Nd, Y/Lu, La/Sm, а также Gd/Yb в некоторых проанализированных образцах. Таковы, в частности, характеристики плоских - слабо фракционированных спектров (№ 2, 3, 4). К ним приближаются характеристики спектра № 7, представляющего гипербазит ( $\sigma_s$ ).

На первый взгляд наблюдается сходная картина распределения редкоземельных, щелочных и высокозарядных элементов в рассматриваемых породах УЩ (рис. 3) и толеит-коматиитовых ассоциациях архейских зеленокаменных областей мира как древнего (> 3 млрд лет), так и более молодого возраста (~ 2,7 млрд лет). Однако имеет место ряд тонких, но принципиальных различий между ними.

Спектры этих пород характеризуются в общем согласованным с REE-профилем поведением высокозарядных элементов HFS группы (Zr, Ti, Y, за исключением P) и несогласованным - щелочных элементов Rb, K, особенно Ba и частично Sr. Такое их поведение обычно расценивается как проявление большей устойчивости REE и группы HFS к вто-

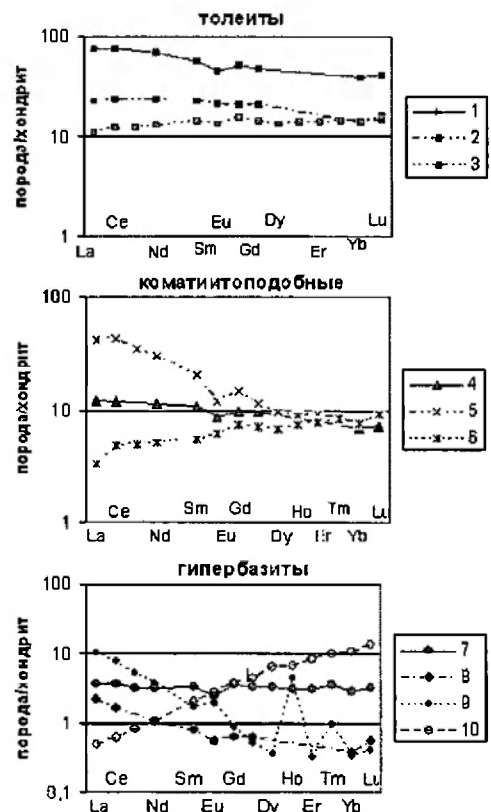


Рис. 2. Спектры REE в породах основного-ультраосновного состава Днестровско-Бугской области

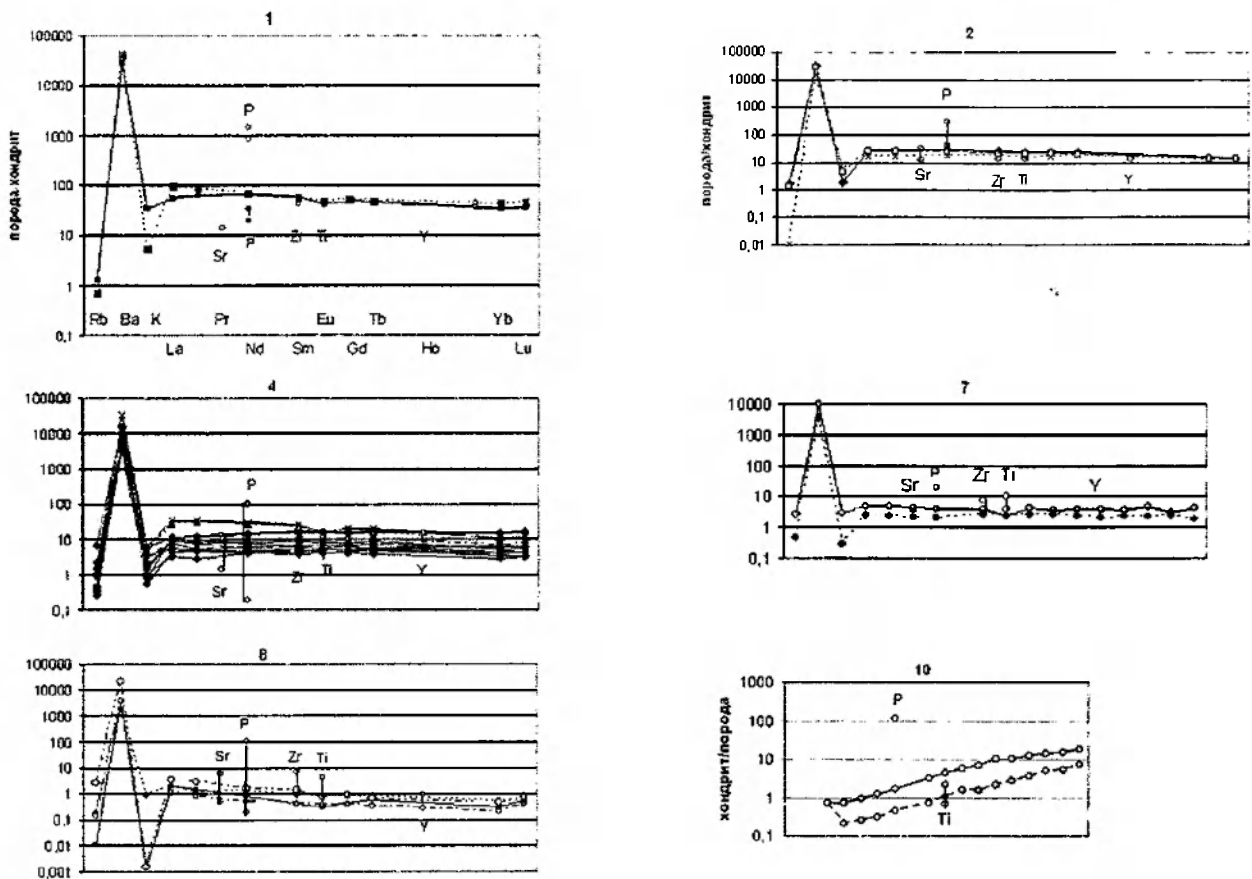


Рис. 3. Нормализованные к хондриту [12] данные по рассеянным элементам в основных-ультраосновных породах Днестровско-Бугской области УЩ. Деpletированные значения P приводятся, согласно норме [5]

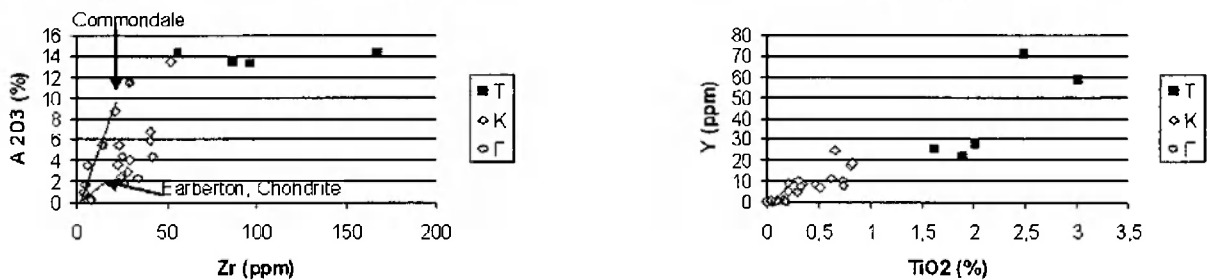


Рис. 4. Относительная характеристика состава пород Днестровско-Бугской области УЩ: Т - толеитовой, К - коматиитоподобных и Г - гипербазитовой групп

ричным изменениям пород по отношению к щелочным элементам. Истощение фосфором источника пород зеленокаменных областей относительно хондрита (согласно нормам авторов [5]) объясняется фракционированием железа во время отделения земной коры, а деплетация титаном - удалением титаномagnetита из расплава. Ничего подобного (по крайней мере, такого же масштаба) при переходе от магнезиальных к железистым разностям метабазитов (спектры № 3-2-1) в изученных нами образцах не проявляется. Железистость и титанистость исследуемых пород, как упоминалось выше, при этом значительно превосходят таковые в толеитах зеленокаменных областей. Следовательно, правомерно предположение о бедном щелочами и примитивном источнике этих пород, который существовал еще до окончательного отделения коры и сохранился в источнике базальтов современных океанических хребтов (MORB). Так ли это - покажет время. Кроме того, обогащение алюминием относительно циркония и иттрия относительно титана (рис. 4) намного превышают хондритовый уровень и уровень

древних зеленокаменных образований (Барбертон), за исключением экзотических ортопироксеновых коматиитов пояса Коммондэйл.

То есть можно полагать, что этот источник, помимо обогащения железом и титаном, был намного богаче источника древних зеленокаменных образований также алюминием и иттрием, а также, возможно, иттербием при приблизительно том же содержании магния. По содержанию алюминия, который отрицательно коррелирует с магнием, он скорее приближался к источнику более молодых толеит-коматиитовых ассоциаций (пояса Абитиби, Канада; Карасьок, Норвегия). Хотя полной аналогии нет ни с одним из упомянутых объектов.

Прямая зависимость между железистостью и титанистостью всех разновидностей основных-ультраосновных пород рассматриваемой области, включая коматиитоподобные перидотитового и пироксенитового состава, свидетельствует об общем источнике всей железо-магнезиальной серии. Толеитовый, феннеровского стиля характер эволюции этого источника определяется высокими значениями

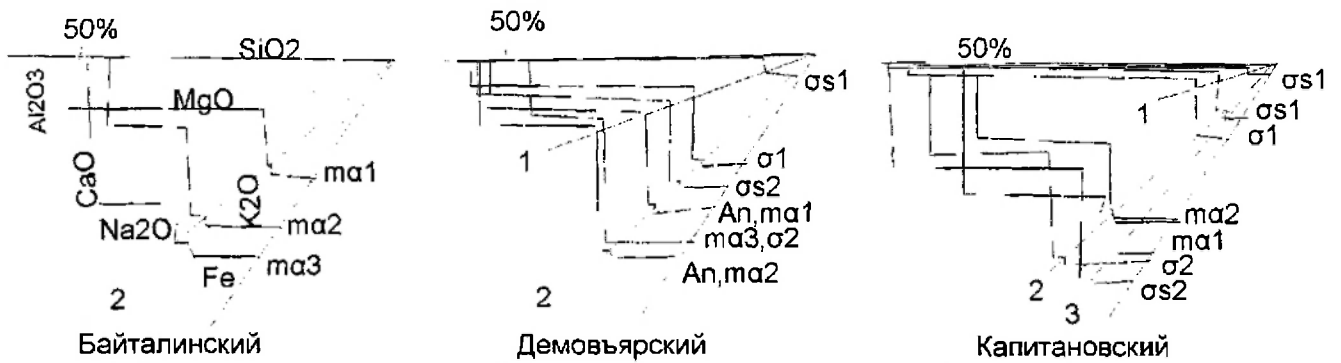


Рис. 5. Линии комплементарности толеитовой магнезиально-железистой серии пород (1-3), плавно переходящие друг в друга

ми данных параметров и линейной направленностью изменений состава пород от вершины М к F диаграммы AFM [9]. В то же время упомянутые выше коматиитоподобные породы, являясь в основной своей массе реакционно-метаморфическими образованиями, столь же четких трендов на диаграммах не формируют.

Комагматичность пород серии  $An-m\alpha_{1,3}-\sigma_{1,2}-\sigma_2$  ( $\sigma_1$ ) отражают диаграммы В.Н. Лодочникова (рис. 5). Комплементарность пород этой серии может быть противопоставлена феномену бимодальных толеит-коматиитовых серий зеленокаменных областей. Ей не противоречит несколько обособленное положение гипербазитов группы  $\sigma_1$ . Такие различия гипербазитов, не образующие самостоятельных массивов, правомочно трактовать в качестве рести-та плавления или, вероятнее всего, ранней кумулятивной фазы толеитовой магмы с феннеровским стилем ее кристаллизации. Состав этой фазы оливиновый или оливин-плаггиоклазовый ( $\pm$  клинопироксен). Очевидно, повышенные значения отношения  $Al_2O_3/TiO_2$  в крайне магнезиальных гипербазитах (диаграмма Ig ATM [9]) вызваны как раз проявлением плаггиоклаза в исходном составе подобных кумулятов, что сопровождается деплетацией расплава стронцием. Описанные особенности состава, условий кристаллизации подобного основного (габбро-анортозитового) расплава и масштабы проявления его, очевидно, не повторялись в более поздние периоды развития Земли.

2. Отклонение от плоского, субгоризонтального распределения REE в остальных случаях вызвано не столь изменением характера глубинного фракционирования магм, как постмагматическими наложенными процессами. При таких процессах ланта-

ноиды (особенно легкие - LREE), согласно [5], могут и выщелачиваться, и накапливаться. К их числу принадлежат процессы гранитизации и остаточной базификации, связанные с региональным метаморфизмом и ультраметаморфизмом.

Гранитизационные процессы, сопровождаемые кремний-щелочным метасоматозом, связаны с привнесением/перераспределением LREE, что вызывает наиболее распространенные отрицательные наклоны спектров (№ 5, 8, 9). Петрографически это подтверждается антипертитизацией плаггиоклаза калиевым полевым шпатом в базитовых разностях пород серии, наряду с биотитизацией их, а также пироксенизацией и флогопитизацией гипербазитов. Отношение La/Lu как показатель щелочности однотипных пород [13] при этом существенно возрастает (таблица).

Базификационные процессы, сопряженные с метаморфической гидратацией и карбонатизацией, приводят к образованию корунд-нормативных пород или содержащих в парагенезисе шпинель, глиноземистые пироксены и роговые обманки, а также гранат [8]. Среди продуктов такого рода процессов различаются пироксенолиты от скарноидов (Sk) соотношением Mg, Al, Ti вместе с Sc, V, Cr, Co и Ni к Fe, Mn, совместно с Zn, Pb, Cu и Sn. Появление подобных пород вызвано десиликацией базитового субстрата, а также выщелачиванием и выносом из него LREE, что и вызывает положительные наклоны спектров (№ 6, 10). При этом помимо повышенной миграционной способности Ca и Sr становится возможной подвижность некоторых элементов из группы HFS (в частности, Zr, Ti и P), а также Al, которые переотлагаются, соответственно, в форме циркона, сфена, апатита или хлоритовых, местами

Таблица. Числовые характеристики спектров

№ спектра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
La/Sm <sub>n</sub>	1,31	1,01	0,76	1,12	2,46	0,6	1,12	2,86	6,12	0,23
Gd/Yb <sub>n</sub>	1,32	1,47	1,12	1,42	1,54	0,98	1,27	1,68	2,57	0,35
Sm/Nd <sub>n</sub>	0,84	0,98	1,1	0,95	0,71	1,07	1,07	0,72	0,44	1,92
Y/Lu <sub>n</sub>	1,02	1,1		1,04			1,11	1,03	0,94	
La/Lu <sub>n</sub>	1,84	1,58	0,68	1,68	5,67	0,37	1,17	4,07	25,43	0,04
Zr/Ti <sub>n</sub>	1,25	1,08		1,13	3,99		0,84	1,1-3,7	1,73-7,25	
Zr/Y <sub>n</sub>	1,23	1,3		1,19	1,9-?		1,55	1,2-10,8	2,6-28	

Примечание. Толеитовая группа пород: № 1, 2 — железистые метабазины с fe > 50 % ( $m\alpha_3$ ), [9]; 3 — метабазины с fe = 30-50 % ( $m\alpha_2$ ), [10]. Гипербазитовая: 7 — первичный серпентинит с хромитовым оруденением ( $\sigma_1$ ) [11]; 8, 9 — гипербазиты пироксенизированные [9, 11]. Переходная группа коматиитоподобных пород: 4-6, 10 — магнезиальные метабазины с fe ~ 30 % ( $m\alpha_{2-1}$ ), пироксенолиты ( $\sigma_{1,2}$ ) и вторичные гипербазиты — десилицированные базиты ( $\sigma_2$ ) [9-11].

эпидотовых зон минерализации. Нарушение согласованности в поведении Sr и Zr относительно MgO явно свидетельствует о воздействии вторичных процессов.

Миграционная способность упомянутых выше элементов подтверждается также неустойчивым профилем LREE по отношению к HFS-группе и поведением относительно этого профиля отдельных элементов, например, Sr и P к LREE или Zr/Y и Zr/Ti (рис. 3, таблица). При этом устанавливается положительная корреляция между содержаниями K, Na и LREE в этих породах, LREE и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, а также между Zr и alk/fm (числом П. Ниггли).

Как показывают расчеты баланса масс [14], регрессивной направленности процессы, связанные с мета- и ультраметаморфизмом в областях докембрия, вполне могут осуществляться без значительного привноса вещества извне, а в основном за счет внутреннего его перераспределения (метаморфическая дифференциация и перекристаллизация). При этом вполне подвижными становятся как основные породообразующие, так и связанные с ними рассеянные элементы, особенно Si, K (Ba), при ограниченной подвижности LREE, Sr и даже Al, Ti и Zr. Обогащенные темнокветными минералами (пироксеном, амфиболом) метабазиты и метагипербазиты исследованной Днестровско-Бугской области УЩ представляют собой в значительной степени базифицированные, остаточные продукты региональных процессов гранитизации исходной толеитовой серии пород. Лейкократовые же разности этих пород, насыщаясь кремнием и щелочами, формируют гнейсы и граниты вторичной известково-щелочной серии.

Изложенные данные свидетельствуют об участии всех архейских базит-гипербазитов района, независимо от формационных и стратиграфических подразделений их, в региональных процессах гранитообразования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Arndt N.T., Teixeira N.A., White W.M. Bizarre geochemistry of komatiites from the Crixas greenstone belt, Brasil // *Contribs Mineral. and Petrol.* - 1989. - 101. - P. 187-197.
2. Gruau G., Tourpin S., Fourcade S., Blais S. Loss of isotopic (Nd, O) and chemical (REE) memory during metamorphism of komatiites: new evidence from eastern Finland // *Ibid.* - 1992. - 112. - P. 66-82.
3. Ludden J., Gêlinas L., Trudel P. Archean mafic metavolcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi Greenstone Belt, Quebec // *Can. J. Earth Sci.* - 1982. - 19. - P. 2258-2287.
4. Tourpin S., Gruau G., Blais S., Fourcade S. Resetting of REE, and Nd and Sr isotopes during carbonitization of a komatiite flow from Finland // *Chem. Geol.* - 1991. - 90. - P. 15-29.
5. Ludden J., Gêlinas L., Mellinger M., Trudel P. Archean mafic metavolcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi Greenstone Belt, Quebec. 1. Mobility of the major elements. 2. Mobility of trace elements and petrogenetic constraints // *Can. J. Sci.* - 1982. - 19. - P. 2258-2287.

6. Никулина Э.А. Петрологическая реконструкция субстрата эндербитов Среднего Побужья (Украинский щит): Препр. / ИГФМ АН УССР. - Киев, 1983. - 63 с.

7. Яковлев Б.Г., Шаркин О.П., Никулина Э.А. и др. Субликвидусный пиконит из раннеархейских пироксенитов // *Минерал. журн.* - 1984. - 6, № 3. - С. 53-61.

8. Никулина Э.А. Петрогенез и структурообразование в докембрии юго-западной части Украинского щита. - Киев: Наук. думка, 1991. - 104 с.

9. Никулина Э.А., Павлюк В.Н., Довгань Р.Н. Формационная типизация и геодинамический режим формирования базит-гипербазитовых ассоциаций Днестровско-Бугской гранулит-гнейсовой области // *Минерал. журн.* - 2006. - 28, № 3. - С. 38-59.

10. Балашов Ю.А., Егоров О.С., Колесов Г.М. Редкоземельные элементы в основных и ультраосновных породах Среднего Побужья // *Геохимия.* - 1990. - № 3. - С. 437-441.

11. Анциферов А.В., Шеремет Е.М., Глеваский Е.Б. и др. Геолого-геофизическая модель Голованевской шовой зоны Украинского щита. - Донецк: Изд-во Вебер, 2008. - 305 с.

12. McDonough W.F., Sun S.-s. The composition of the Earth // *Chemical Geology.* - 1995. - 120. - P. 223-253.

13. Маракушев А.А. Периодическая система экстремальных состояний химических элементов. - М.: Наука, 1987. - 206 с.

14. Nicoulina E.A. The problem of the early Precambrian granulite-gneiss complexes stratification // *Theophrastus, contribs. to anced studies in geology // Athens.* - 1998. - Vol 11. - P. 111-140.

#### РЕЗЮМЕ

Проведено співставлення розподілу породотворювальних та розсіяних елементів в основних та ультраосновних породах архейської грануліто-гнейсової області міжріччя Дністер - Буг з відомими зеленокам'яними областями світу. За допомогою кореляційного аналізу уточнено первинні ознаки порід цієї області Українського щита і характер їх вторинних змін. Висунуто припущення про більш примітивний склад та древній вік джерела цих порід відносно зеленокам'яних толеїт-коматітових асоціацій.

#### SUMMARY

It is attempt to compare of the peculiarities rock-forming and trace elements distribution in archean mafite-ultramafites from Dniester-Bug's area of the Ukrainian Shield and greenstone belts. The results testify on participation first in regional metamorphic-ultramemamorphic and connected processes alteration when practical all elements stand mobile, including Al, Zr, Ti, P, Sr and LREE. At the same time "memory" about them primary magmatic state is preserved also. The substance is possibly more ancient then one in greenstone belts.

*Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. Н.П. Семеновко НАН Украины, г. Киев*