

## ФОСФОР У СІЄНІТАХ ЯК ІНДИКАТОР ПЕТРОГЕНЕЗИСУ ТА РУДОНОСНОСТІ ЛУЖНИХ КОМПЛЕКСІВ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

С.Г. Кривдік<sup>1</sup>, О.В. Дубина<sup>1,2</sup>

1 — Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна  
E-mail: [kryvdik@ukr.net](mailto:kryvdik@ukr.net)

2 — ННІ Інститут геології КНУ імені Тараса Шевченка  
03022, вул. Васильківська, 90, Київ, Україна

Концентрація фосфору в різних типах нефелінових та лужних сієнітів Українського щита визначена належністю цих порід до лужно-ультраосновного (карбонатитового) або габро-сієнітового комплексу лужних чи сублужних порід. Крім того, в кожному конкретному типі сієнітів вміст фосфору залежить від ступеня диференційованості породи. Кінцеві диференціати, егіринові та рибекітові сієніти і аспаїтові нефелінові сієніти завжди збіднені на  $P_2O_5$  і в них часто замість апатиту кристалізується його силікатний аналог — бритоліт. У сієнітах габро-сієнітового комплексу виявлено позитивну кореляцію між вмістом фосфору ( $P_2O_5$ ) та заліза ( $FeO + Fe_2O_3$ ), а також між  $P_2O_5$  і  $TiO_2$ . Геохімічна поведінка фосфору та хімізм фемічних мінералів (залізистість, лужність) можуть бути критеріями їх петрогенезису та оцінки їх перспективної рудоносності.

*Ключові слова:* фосфор, нефеліновий сієніт, лужний сієніт, комплекси порід, апатит.

**Вступ.** Геохімію фосфору (а також титану) в магматичних породах Українського щита (УЩ) та їх рудоносність на ці елементи розглянуто в попередніх роботах [9, 7, 10]. Проте останнім часом з'явилося чимало нових даних про вміст фосфору ( $P_2O_5$ ) в різних типах сієнітів (лужних, сублужних, фельдшпатоїдних), які є зазвичай найпоширенішими породами в комплексах магматичних порід (карбонатитових, габро-сієнітових, частково анортозит-рапаківігранітних), із якими просторово і генетично пов'язані родовища апатиту (часто разом з ільменітом). При цьому виявилося, що вміст  $P_2O_5$  в сієнітових породах залежить від їхньої генетичної приналежності до певного із названих комплексів порід, а також ступеня диференційованості самих сієнітів. Якщо в сієнітах (лужних і нефелінових) з карбонатитових (лужно-ультраосновних) комплексів УЩ апатит стабільно є характерним акцесорним (а інколи й пороудо-

ворювальним) мінералом, то в однойменних породах з габро-сієнітових комплексів розподіл апатиту ( $P_2O_5$ ) вкрай неоднорідний, хоча загалом залежить від ступеня диференційованості сієнітів (меланократовості-лейкократовості, залізистості та лужності фемічних мінералів). У деяких габро-сієнітових масивах (Октябрський, Малотерсянський) більш ранні мезо- і меланократові сієніти нерідко містять значно більше фосфору, ніж габро попередніх фаз (останнім властивий низький вміст  $P_2O_5$ ). Проте в пізніших нефелінових сієнітах цих масивів (фойяїтах, маріуполітах) вміст  $P_2O_5$  стає вкрай низьким (рис. 1). Подібний розподіл фосфору спостерігається в сієнітах Південно-Кальчицького (з Азовським родовищем) і Яструбецького масивів, де кінцеві диференціати (лужні та кварцові біотитові сієніти) характеризуються практично повною відсутністю апатиту.

**Мета роботи** — пояснити (дати петрогенетичну інтерпретацію) виявленим особливостям розподілу фосфору в сієнітах із різних магматичних

комплексів лужних та сублужних порід УЩ, виходячи із результатів відомих експериментальних досліджень розчинності  $P_2O_5$  в магматичних розплавах різної основності та лужності з урахуванням петрологічних та геохімічних особливостей досліджуваних сієнітів, а саме лужності та залізистості порід і фемічних мінералів із них, визначити приналежність їх до певних комплексів і оцінити потенційну рудоносність останніх.

**Методи досліджень** – порівняльний аналіз опублікованих і отриманих авторами результатів визначення вмісту фосфору ( $P_2O_5$ ) (концентрацію фосфору визначено за допомогою класичного методу «мокрої хімії» у хімічній лабораторії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України) в сієнітах і генетично зв'язаних із ними породах різних магматичних комплексів та узгодження цих даних із експериментальними дослідженнями поведінки фосфору в магматичних системах.

**Фосфор у сієнітах лужно-ультраосновних (карбонатитових) комплексів.** Всі меланократові породи (найчастіше це ранні магматичні фази), а

також карбонатити лужно-ультраосновних комплексів УЩ (та інших регіонів світу) збагачені фосфором. З цими комплексами часто пов'язані родовища апатиту. Як приклад згадаємо найбільші у світі родовища апатиту в Хібінах, пов'язані з лужно-ультраосновними породами (ійолітами, уртітами), а в самому Хібінському масиві виявлено шток карбонатитів. Фосфор у помірній або й підвищеній кількості «переходить» і в пізніші мезо- і лейкократові диференціати – нефелінові і лужні сієніти, які є найпоширенішими породами Чернігівського, Проскурівського та Антонівського лужно-ультраосновних масивів УЩ [4, 9]. Винятком із цієї закономірності є низка невеликих інтрузій лужно-ультраосновних порід (мельтейгіти, якупірангіти) в північно-західній частині УЩ (Городницька, Глумчанська, Болярківська, Губківська), які не супроводжуються нефеліновими та / або лужними сієнітами. А лужно-ультраосновні породи цих інтрузій характеризуються дуже низьким (часто менше 0,20 %  $P_2O_5$ ) вмістом фосфору (а також таких рідкісних елементів, як Nb, Zr, REE) і вважаються найменш диференційованими (най-

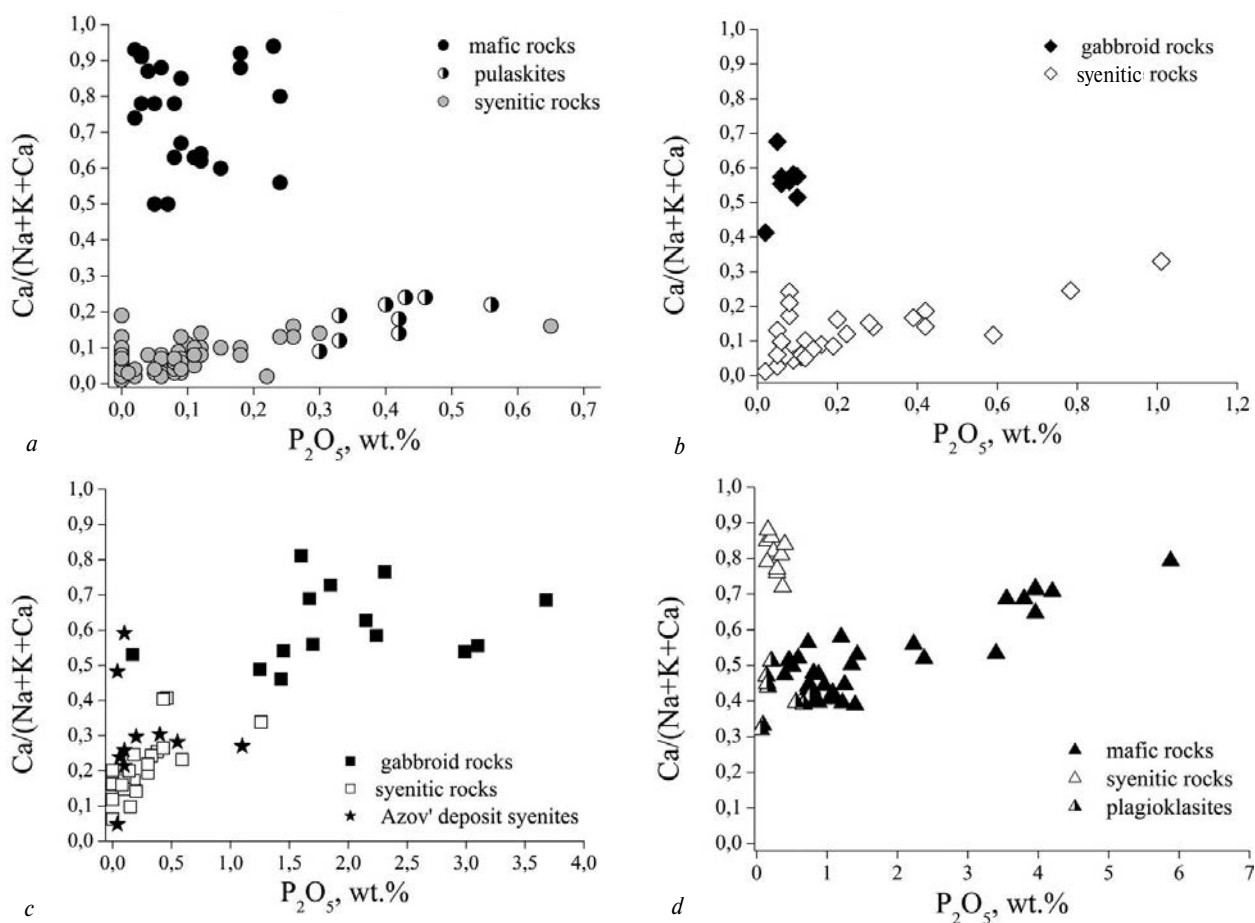


Рис. 1. Залежність вмісту фосфору від кальцієвості ( $Ca/(Na + K + Ca)$ ) в породах габро-сієнітових масивів. Масиви: а – Октябрьський; б – Малотерсянський; с – Південно-Кальчицький та Азовське родовище; д – Давидківський

більш «примітивними») порівняно з подібними породами інших відомих комплексів цього типу.

Зазвичай апатит у сієнітах лужно-ультраосновних масивів УЩ є акцесорним або породоутворювальним мінералом, що детально досліджено нами раніше [5, 8], рідше трапляється монацит. Концентрація  $P_2O_5$  в нефелінових та лужних сієнітах у лужно-ультраосновних комплексів УЩ найчастіше становить 0,1–0,9 %, хоча загалом позитивно корелює з вмістом заліза ( $FeO + Fe_2O_3$ ). У найбільш меланократових сієнітах Чернігівського карбонатитового масиву – твейтозитах, твейтозит-сієнітах вміст  $P_2O_5$  досягає 2,9–3,9 %, а у крайньо меланократових членах серії сієніт-твейтозит-твейтозит-піроксенітах – до 11,8 % [3, 9]. Інколи спостерігається високий вміст  $P_2O_5$  (2,3 %) і в канадітах Чернігівського масиву. В подібних меланократових сієнітах Дністрово-Бузького мегаблоку (Проскурівський та Антонівський масиви) концентрація  $P_2O_5$  найчастіше становить 0,3–1,0 % і також позитивно корелює з вмістом  $FeO + Fe_2O_3$ . При цьому не виявлено якоїсь різниці в концентрації  $P_2O_5$  в лужних і нефелінових сієнітах за умови близького вмісту  $FeO + Fe_2O_3$  в цих порівнюваних породах.

Зазначимо, що апатит є характерним акцесорним мінералом (в шліфах і протолочках) нефелінових і лужних сієнітів лужно-ультраосновних комплексів УЩ навіть у тих випадках, коли фіксується доволі низький вміст  $P_2O_5$  (0,03–0,11%), що, можливо, пояснюється недовизначенням останнього під час виконання хімічного аналізу породи.

Як зазначено в наших попередніх публікаціях, фемічні мінерали (клінопіроксени, амфіболи, біотити) в однотипних породах (в даному випадку лужних і нефелінових сієнітах) лужно-ультраосновних масивів мають значно нижчу загальну

залізистість і лужність порівняно з такими габро-сієнітових масивів УЩ (про які мова йде нижче). Біотити представлені Mg-Fe-різновидами помірної залізистості (43–58 %), амфіболи – Ca-Na-різновидами (гастингсити, катофорити) теж помірної залізистості, а в піроксенах (егірин-саліти) вміст акмітового міналу становить 10–30 %.

**Фосфор у сієнітах габро-сієнітових комплексів УЩ.** Розподіл фосфору в лужних і нефелінових сієнітах цих комплексів більш неоднорідний і значно складніший, ніж в однойменних породах розглянутих вище лужно-ультраосновних комплексів. Порівняно з останніми, габро-сієнітові комплекси характеризуються також значно більшим розмаїттям лужних і нефелінових сієнітів. Крім того, серед габро-сієнітових комплексів виділяється два типи: 1) в яких кінцевими фазами еволюції є нефелінові сієніти, в т. ч. їхні агаїтові різновиди (Октябрьський, Малотерсянський та Покрово-Кириївський масиви); 2) завершуються лужнопольовошпатовими (меншою мірою лужними) сієнітами (Південно-Кальчицький, Давидківський, Яструбецький). Вважається, що останні споріднені з анортозит-рапаківігранітними плутонами і, очевидно, являють собою сієнітовий тренд їхнього розвитку [9].

Порівняно із сієнітами лужно-ультраосновних, однотипні породи габро-сієнітових комплексів характеризуються загалом дещо нижчим вмістом фосфору, хоча і серед них зрідка трапляються різновиди з підвищеною його концентрацією (1–2 %  $P_2O_5$ ). При цьому зберігається загальна для обох комплексів порід закономірність – позитивна кореляція між вмістом заліза і фосфору. Проте в сієнітах габро-сієнітового комплексу вміст  $P_2O_5$  на рівні 0,4–0,6 % досягається тільки в тих породах, які мають 9–12 % ( $FeO + Fe_2O_3$ ), тоді як в лужно-

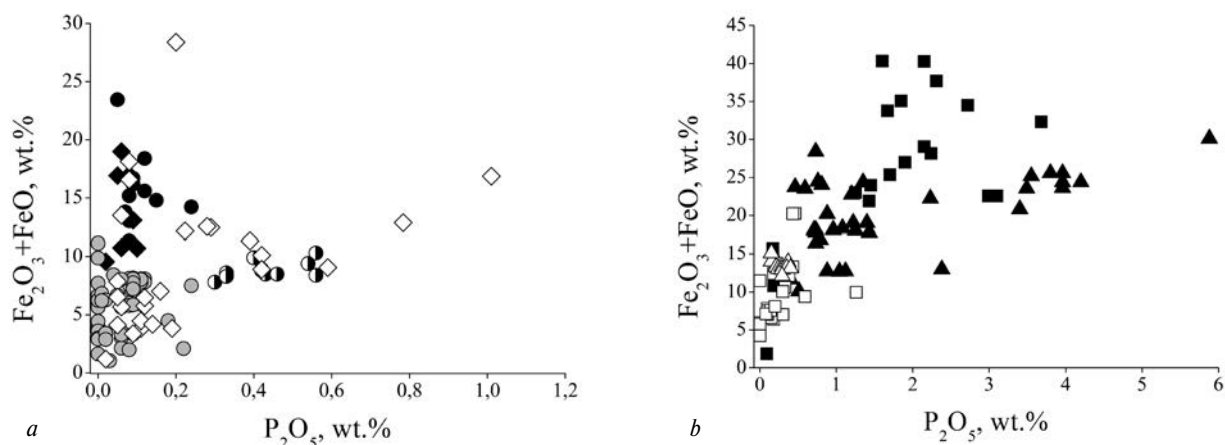


Рис. 2. Залежність вмісту фосфору і заліза в породах габро-сієнітових комплексів (умов. познач. див. на рис. 1)

ультраосновних це реалізується за вмісту оксидів заліза на рівні 4–6 % (рис. 2). Крім того, в сієнітах габро-сієнітових комплексів проявляється подібна залежність між вмістом  $P_2O_5$  і  $TiO_2$  (рис. 3).

Фемічні мінерали сієнітів габро-сієнітових масивів УЩ характеризуються високою (до граничної) залізистістю та /або лужністю (егірін, рибекіт) на відміну від однойменних порід і мінералів лужно-ультраосновних комплексів УЩ. У масивах габро-сієнітового комплексу наявні нефелінові та лужні сієніти (Октябрський, Малотерсянський), а в інших названих комплексах концентрація  $P_2O_5$  майже завжди є вищою, як і вміст оксидів заліза та титану. Крім того, як у нефелінових, так і в лужних (безнефелінових) сієнітах вміст фосфору знижується в міру диференційованості порід – відбувається зменшення вмісту  $FeO + Fe_2O_3$  і  $TiO_2$  та підвищення лужності фемічних мінералів (піроксенів, амфіболів). Так, у більш меланократових пуласкітах (з егірінвмісним піроксеном, гастингситом, біотитом) Октябрського масиву значно вищий вміст  $P_2O_5$  порівняно з тарамітовими фойяїтами, а тим більше з маріуполітами, егіриновими фойяїтами та агаїтовими фонолітами (таблиця).

У маріуполітах, егіринових мікрофойяїтах та агаїтових фонолітах концентрація фосфору настільки низька, що замість апатиту кристалізується силікатний аналог цього мінералу – бритоліт.

Подібна картина спостерігається і в сієнітах Південно-Кальчицького та Яструбецького масивів, хоча в меланократових (рудних) сієнітах Азовського родовища (Південно-Кальчицький масив) наведено досить високий вміст  $P_2O_5$  (до 1,36, а в середньому 0,42 %) [1]. У двох аналізах (авторські дані) таких меланократових сієнітів [1, с. 333] визначено лише 0,04–0,06 %  $P_2O_5$ . Крім того, на прикладі двох масивів (Малотерсянського та Яструбецького) виявлено, що вміст  $P_2O_5$  зменшується від більш меланократових і менш лужних ендоконтактових до більш лужних (з егіриновими піроксенами) лейкократових сієнітів внутрішньої частини інтрузій [9].

Є одна не зовсім звична особливість розподілу фосфору в деяких габро-сієнітових комплексах: у більш меланократових і ендоконтактових сієнітах Октябрського та Малотерсянського масивів значно вищий вміст  $P_2O_5$  (0,2–0,7 %) порівняно з більш ранніми габро (0,02–0,15 %). При цьому габро Октябрського масиву характеризу-

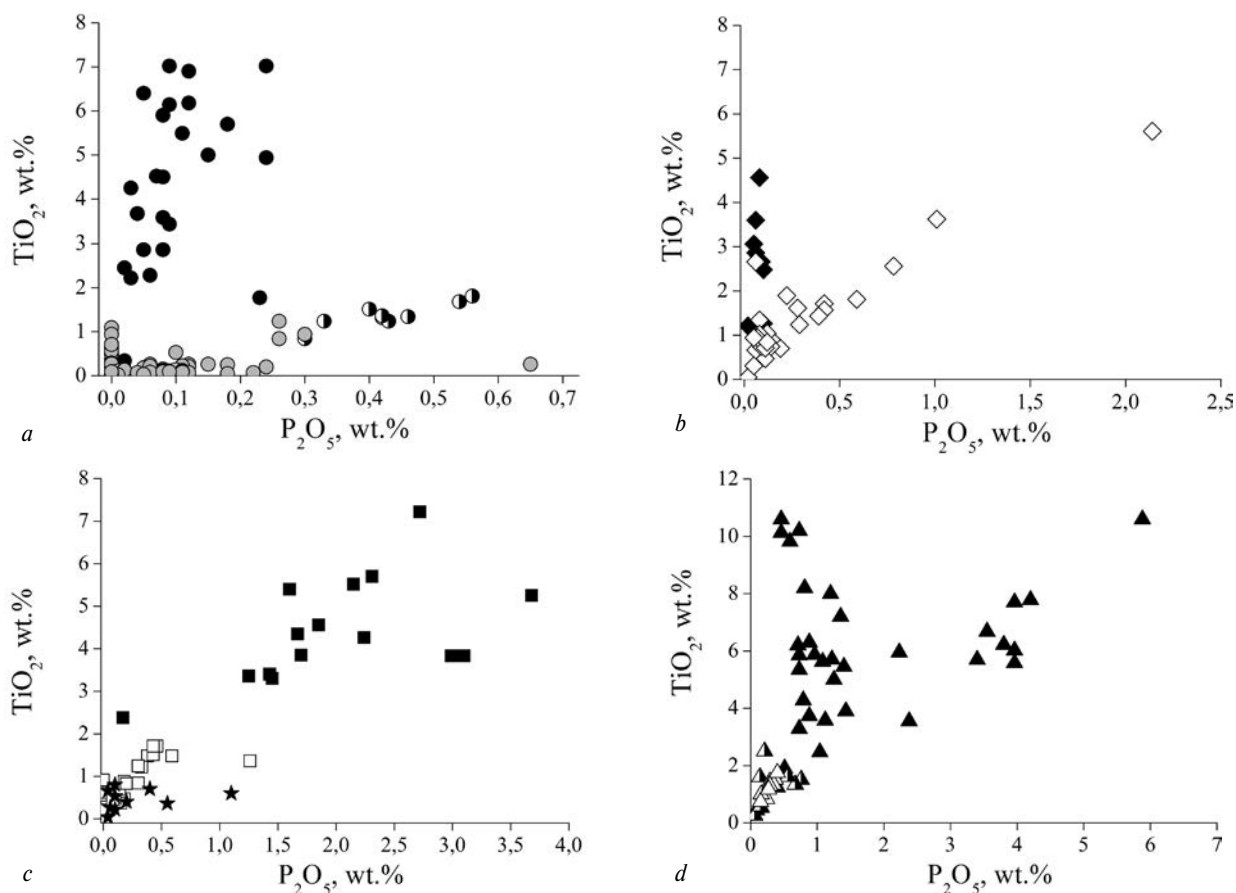


Рис. 3. Залежність вмісту фосфору і титану в породах габро-сієнітових масивів (умов. познач. див. на рис. 1)

## Хімічний склад головних типів порід в габро-сієнітових (сієнітових) і лужно-ультраосновних

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Октябрський						Малотерсянський				Південно-Кальчицький				
SiO <sub>2</sub>	45,74	44,15	53,86	54,60	60,35	59,49	46,50	57,75	55,90	54,64	37,46	40,39	50,47	58,30	56,70
TiO <sub>2</sub>	4,94	5,90	1,68	0,15	0,10	0,71	2,66	1,81	1,61	0,74	5,52	3,83	1,71	0,70	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,71	11,77	16,87	21,40	20,96	13,37	16,30	15,17	12,89	21,45	6,19	11,33	11,67	16,70	13,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,45	1,19	1,47	1,70	2,70	10,41	4,30	2,61	4,66	1,40	4,20	2,60	2,97	1,45	3,49
FeO	11,78	11,85	7,90	4,30	0,71	0,72	8,80	6,46	7,90	2,44	24,85	19,97	17,28	6,11	6,95
MnO	0,26	0,22	0,18	0,24	0,10	0,18	0,14	0,33	0,36	0,12	0,33	0,30	0,48	0,21	0,23
MgO	5,88	8,00	1,05	0,20	0,44	0,16	5,00	1,63	1,44	0,17	4,60	4,27	0,57	0,54	0,24
CaO	8,51	11,91	5,36	1,68	0,47	0,92	10,50	2,12	3,08	1,35	8,73	8,12	6,72	3,76	3,30
Na <sub>2</sub> O	2,62	3,58	4,63	9,20	12,08	11,57	3,80	6,25	7,05	8,40	1,84	2,47	3,16	4,32	4,82
K <sub>2</sub> O	1,57	0,30	4,74	4,80	1,18	0,97	0,48	3,74	3,52	6,96	1,50	1,98	3,30	5,89	4,28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,08	0,54	0,08	0,02	—	0,09	0,59	0,28	0,11	2,15	2,99	0,46	0,14	0,29
CO <sub>2</sub>	0,53	0,32	0,46	—	—	—	0,35	0,57	0,27	0,76	0,57	0,32	0,36	1,05	
S	0,18	0,15	0,06	—	—	—	0,07	0,08	0,04	0,03	0,08	0,22	0,08	0,07	0,13
F	—	—	0,15	0,16	0,06	0,03	—	—	—	—	—	0,07	—	—	—
H <sub>2</sub> O	0,46	0,21	0,18	—	0,08	0,18	0,10	0,01	0,01	0,01	0,18	0,07	0,08	0,06	—
В.п.п.	0,96	0,54	—	1,20	0,60	1,10	1,35	0,71	0,72	0,73	1,35	0,76	0,48	0,24	2,12
Сума	99,83	100,17	99,19	99,71	99,90	99,96	100,44	99,83	99,73	99,31	99,55	99,76	99,79	99,54	99,69
Fe/(Fe + Mg)	0,57	0,48	0,83	0,94	0,80	0,97	0,59	0,75	0,82	0,92	0,78	0,75	0,95	0,89	0,96
(Na + K)/Al	0,44	0,53	0,76	0,95	1,01	1,50	0,42	0,94	1,20	1,00	0,75	0,55	0,75	0,81	0,93

Примітка. В суму також входить, мас. %: ан. 3 – 0,06 ZrO<sub>2</sub>; ан. 6 – 0,11 ZrO<sub>2</sub>, 0,04 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; ан. 22 – 0,15 ZrO<sub>2</sub>, 0,04 TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; ан. 24 – 0,15 BaO; ан. 25 – 0,17 BaO; ан. 27 – 0,10 BaO. 1, 2 – габро; 3 – пулскіт; 4 – фойяїт; 5, 6 – маріуполіти; 7 – габро; 8, 9 – лужні сієніти зовнішньої і внутрішньої частин масиву, відповідно; 10 – фойяїт; 11, 12 – габро; 13, 14 – сієніти;

ється досить високим вмістом TiO<sub>2</sub> (4,5–7,0 %). Найчастіше габроїди з таким вмістом титану є одночасно збагаченими на фосфор.

Отже, лужні і нефелінові сієніти габро-сієнітових комплексів УЩ відрізняються від одноіменних порід лужно-ультраосновних комплексів значно складнішими особливостями розподілу фосфору. Детальніше відмінності геохімічного та мінералогічного характеру однотипних порід із згаданих магматичних комплексів УЩ описано нами раніше [4, 9].

**Обговорення результатів та деякі петрогенетичні висновки.** Коротко розглянуті вище особливості та відмінності розподілу фосфору в сієнітах лужно-ультраосновних та габро-сієнітових комплексів УЩ зумовлено, очевидно, різними петрогенетичними механізмами утворення вихідних розплавів та їх подальшої диференціації. Ми схильні вважати, що головним механізмом формування лужно-ультраосновних комплексів є ліквідація багатих CO<sub>2</sub> лужно-ультраосновних розплавів на карбонатитову та лужносилікатну (у т. ч. фонолітову та трахітову) складові, тоді як в масивах габро-сієнітових комплексів вирішальну роль відігравали процеси кристалізаційної диференціації [4]. Цим пояснюються передусім відмінності

складу фемічних мінералів за залізистістю та лужністю в сієнітах цих двох комплексів.

Згідно з таким петрогенетичним механізмом і характером розподілу фосфору, в сієнітах лужно-ультраосновних комплексів його концентрація завжди нижча, ніж у меланократових породах і карбонатитах (в яких CaO є одним з головних оксидів), що асоціюють з ними.

У масивах габро-сієнітових комплексів сієніти можуть містити менше (частіше) або й навіть більше фосфору, ніж більш ранні габроїди. Це можна пояснити як складом вихідних (ранніх) базитових магм, так і подальшою їх еволюцією з формуванням кінцевих трахітових та / або фонолітових диференціатів, а також і розчинністю (і можливістю нагромадження) фосфору в різних розплавах, з яких виникли породи габро-сієнітових комплексів. Як відомо з експериментальних досліджень [2], базальтові та ультраосновні розплави з високим вмістом CaO (мелілітити, нефелініти) здатні розчинити кілька відсотків апатиту (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), тоді як бідні CaO і багаті SiO<sub>2</sub> розплави (гранітового, трахітового та фонолітового складу) характеризуються обмеженою або й вкрай низькою розчинністю фосфору. З іншого боку, переважна більшість (або практично всі) основних та

## (карбонатитових) масивах Українського щита

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Давидківський			Великовисківський				Яструбецький			Чернігівський				Проскурівський		Антонівський	
47,54	30,64	54,76	53,25	61,42	56,29	60,43	57,33	53,92	61,65	53,40	56,69	50,95	58,09	47,07	53,77	62,48	
3,29	7,78	0,84	2,20	0,30	0,74	0,35	0,14	0,47	0,36	0,21	0,39	0,86	0,52	0,74	0,47	0,22	
11,72	8,95	14,50	12,95	16,17	17,27	17,04	18,88	17,14	14,21	4,85	10,06	20,45	20,00	22,49	22,54	17,98	
5,28	5,79	4,15	0,24	1,95	3,38	1,24	1,48	1,53	1,86	3,93	3,73	2,49	1,93	3,84	2,25	0,90	
12,58	18,58	8,93	15,84	6,46	6,26	4,02	2,45	6,19	3,08	6,17	3,73	3,88	2,02	4,68	2,87	1,50	
0,25	0,32	0,20	0,22	0,16	0,16	0,15	0,02	0,08	0,13	0,76	0,33	0,08	0,09	0,12	0,07	0,03	
2,48	4,33	0,60	1,28	0,24	0,65	0,41	1,50	2,02	1,41	7,10	4,29	2,79	1,40	1,53	0,90	0,30	
7,45	8,83	4,48	5,62	3,28	3,18	1,79	3,85	3,50	4,80	16,70	9,94	3,89	2,47	3,68	2,12	2,91	
3,28	1,21	4,10	3,50	4,50	4,36	6,03	7,50	6,42	6,24	3,20	5,68	8,60	8,44	8,92	8,30	5,88	
2,78	1,18	4,70	3,20	4,78	6,55	5,60	2,86	4,49	4,22	1,31	3,10	3,28	3,07	4,10	4,49	5,96	
0,73	4,20	0,24	0,60	0,09	0,14	0,08	0,35	0,64	0,23	0,98	0,87	0,42	0,51	0,73	0,37	0,86	
0,40	0,64	0,22	0,17	0,17	0,28	0,92	2,18	1,87	0,73	0,75	1,00	1,15	1,11	1,32	0,78	0,28	
0,36	0,66	0,14	0,07	0,04	—	0,04	0,50	0,07	0,03	0,02	—	0,20	0,08	0,05	0,05	—	
—	0,23	—	—	—	0,03	0,45	—	0,04	—	0,12	0,10	—	—	—	—	—	
0,38	0,42	0,18	0,08	—	0,08	—	0,12	0,07	0,08	0,10	0,07	0,04	0,17	0,06	0,16	0,12	
1,21	4,22	1,77	0,49	0,90	0,76	0,97	1,10	0,57	0,41	0,64	0,15	0,54	0,45	0,62	1,19	0,18	
99,73	97,98	99,81	99,71	100,46	100,13	99,71	100,26	99,17	99,61	100,44	100,23	99,62	100,35	99,95	100,33	99,60	
0,80	0,76	0,92	0,88	0,95	0,89	0,88	0,59	0,68	0,65	0,43	0,48	0,55	0,60	0,75	0,75	0,81	
0,72	0,37	0,82	0,71	0,78	0,83	0,94	0,82	0,90	1,04	1,38	1,26	0,87	0,86	0,85	0,82	0,90	

15 – сієніт Азовського родовища; 16, 17 – габро-діабази; 18 – сієніт; 19, 20 – сієніти; 21, 22 – сієніт ендоконтактний і центральної частини, відповідно; 23, 24 – канадити; 25 – лужний сієніт; 26, 27 – меланократові сієніти (твейтозити); 28, 29 – ювіт і фойяїт, відповідно; 30 – ювіт; 31 – фойяїт; 32 – лужний сієніт.

називаних ультраосновних розплавів недонасичені фосфором, концентрація якого може збільшуватися в процесі їх подальшої диференціації. В тих випадках, коли ранні базитові розплави були збагачені  $P_2O_5$  (Давидківський, Південно-Кальчицький масиви), частина цього компонента переходить у пізніші сієніти (але в меншій кількості, ніж у збагачених фосфором базитах). Якщо ж ранні габроїди (базальтові магми) були бідними на фосфор або вкрай недосичені ним (Октябрський, Малотерсянський масиви), то останній може переходити в пізніші і залишкові розплави, з яких формувалися лужні та нефелінові сієніти. Тоді в цих пізніших сієнітових диференціатах вміст фосфору може бути значно вищим, ніж у недосичених ним ранніх габроїдах. Проте в процесі подальшої кристалізаційної диференціації такі дещо збагачені фосфором сієнітові порції розплаву (меланократові та ендоконтактні фації) поступово його «втрачають», з кристалізацією на кінцевих етапах у край збіднених на фосфор лужних сієнітів (фойяїти, маріуполіти, аґпаїтові фоноліти).

Одним із прикладів подібного розподілу фосфору можуть бути багаті на ільменіт (та з низьким вмістом фосфору) рудні габронорити Носачів-

ського родовища. Під час дослідження цих порід було зафіксовано, що апатитом збагачені інтерстиційні гранофірові ділянки (фото в [6]), тобто фосфор переходить із недосиченого ним базитового розплаву у залишковий (гранофіровий) інтерстиційний розплав.

**Висновки.** Характер розподілу та вміст фосфору в лужних і нефелінових сієнітах залежить передусім від генетичної спорідненості цих порід з різними за складом первинними магматичними розплавами. Виходячи з розглянутих вище особливостей розподілу фосфору та хімізму фемічних мінералів у сієнітових породах, можна визначити належність до певного комплексу лужних або сублужних порід і попередньо дати оцінку потенційній рудоносності нових знахідок лужних і нефелінових сієнітів, які можуть бути виявленими під час проведення геолого-розвідувальних робіт. Геохімічна поведінка фосфору, як другорядного елемента більшості магматичних порід може бути критерієм петрогенезису та оцінки їх рудоносності.

Збагаченість залізом та зростання залізистості фемічних мінералів габро-сієнітових комплексів частково можна пояснити фенерівським трендом еволюції вихідних базальтових магм.

**Література**

1. Азовское редкоземельное месторождение Приазовского мегаблока Украинского щита (геология, минералогия, геохимия, генезис, проблемы эксплуатации). Донецк: Ноулідж, 2012. 374 с.
2. Когарко Л.Н., Кригман Л.Д., Крот Т.В. Растворимость и геохимия фосфора в магмах. *Геохимия*. 1987. № 7. С. 915–927.
3. Глевасский Е.Б., Кривдик С.Г. Докембрийский карбонатитовый комплекс Приазовья. Киев: Наук. думка, 1981. 227 с.
4. Дубина О.В. Геохимія лужних порід Українського щита: Автореф. дис. д-ра геол. наук. Київ, 2015. 24 с.
5. Дубина О.В., Кривдік С.Г., Самчук А.І., Красюк О.П., Амашукелі Ю.А. Закономірності розподілу REE, Y і Sr в апатитах ендеогенних родовищ Українського щита (за даними ІСР-MS). *Мінерал. журн.* 2012. **34**, № 2. С. 80–99.
6. Кривдік С.Г., Гуравський Т.В., Дубина О.В., Братчук О.М., Мархай О.І., Нечаєнко О.М., Якубенко П.Ф. Особливості речовинного складу Носачівського апатит-ільменітового родовища (Корсунь-Новомиргородський плутон, Український щит). *Мінерал. журн.* 2009. **31**, № 3. С. 55–78.
7. Кривдік С.Г., Гуравський Т.В., Дубина О.В., Томурко Л.Л., Мінеєва В.М., Бутович В.І. Геохімія титану та фосфору в магматичних породах України. *Геохімія та рудоутворення*. 2008. № 26. С. 4–15.
8. Кривдік С.Г., Дубина О.В., Довбуш Т.І., Котвицька І.М., Висоцький О.Б., Безсмолова Н.В., Амашукелі Ю.А.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в апатитах із лужних і основних порід Українського щита. *Мінерал. журн.* 2011. **33**, № 3. С. 55–62.
9. Кривдик С.Г., Ткачук В.И. Петрология щелочных пород Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1990. 408 с.
10. Пономаренко О.М., Кривдік С.Г., Дубина О.В. Ендеогенні апатит-ільменітові родовища Українського щита (геохімія, петрологія та мінералогія). Донецьк: Ноулідж, 2012. 230 с.

**References**

1. Azov rare metals deposit of Azov area of the Ukrainian Shield (2012). Doneck, Noulydzh. 374 p. [in Russian].
2. Kogarko, L.N., Krygman, L.D., Krot, T.V. (1987). Solubility and geochemistry of phosphorus in magmas. *Geokhimiya*. No. 7, pp. 915-927 [in Russian].
3. Glevasskyj, E.B., Kryvdik, S.G. (1981). Precambrian carbonatite complex of the Azov Sea region. Kyiv, Naukova dumka, 227 p.
4. Dubyna, O.V. (2015). Geochemistry of the alkali of the Ukrainian Shield. Avtoref. dok. dys. 24 p. [in Ukraine].
5. Dubyna, O.V., Kryvdik, S.G., Samchuk, A.I., Krasjuk, O.P., Amashukeli, Yu.A. (2012). Distribution patterns of REE, Y and Sr in the apatites of the endogenous deposits of the Ukrainian shield (by ICP-MS data). *Mineral. Journ.* **34**, No. 2, pp. 80-99 [in Ukraine].
6. Kryvdik, S.G., Guravskyj, T.V., Dubyna, O.V., Bratchuk, O.M., Marhaj, O.I., Nechayenko, O.M., Yakubenko, P.F. (2009). Features of composition of apatite-ilmenite from Nosachiv deposit (Korsun-Novomyrgorod pluton, Ukrainian shield). *Mineral. Journ.* No. 3, pp. 55-78. [in Ukraine].
7. Kryvdik, S.G., Guravskyj, T.V., Dubyna, O.V., Tomurko, L.L., Mineyeva, V.M., Butovych, V.I. (2008). Geochemistry of titanium and phosphorus in igneous rocks of Ukraine. *Geochemistry and Ore Formation*. No. 26, pp. 4-15. [in Ukraine].
8. Kryvdik, S.H., Dubyna, O.V., Dovbush, T.I., Kotvyc'ka, I.M., Vysoc'kyj, O.B., Bezsmolova, N.V., Amashukeli, Yu.A. (2011).  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in apatites from the alkaline and basic rocks of the Ukrainian shield. *Mineral. Journ.* **33**, No. 3, pp. 55-62 [in Ukraine].
9. Kryvdik, S.H., Tkachuk, V.Y. (1990). Petrology of alkaline rocks of the Ukrainian shield. Kyiv, Naukova dumka. 408 p. [in Russian].
10. Ponomarenko, O.M., Kryvdik, S.H., Dubyna, O.V. (2012). Endogenous apatite-ilmenite deposits of the Ukrainian shield (geochemistry, petrology and mineralogy). Donec'k, Noulidzh. 230 p. [in Ukraine].

**Kryvdik S.G.**

*M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Science of Ukraine  
Dubyna O.V.*

*M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Science of Ukraine  
Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv*

**Phosphorus in syenites as an indicator of petrogenesis and ore ability of alkaline complexes of the Ukrainian shield**

The concentration of phosphorus in various types of the nepheline and alkaline syenites in the Ukrainian shield is determined by relation of these rocks to the alkaline-ultrabasic (carbonatite) or gabbro-syenitic complexes. In addition, in each particular type of syenites phosphorus content depends on the degree of their differentiation. The final differentiates, aegirine and ribeckite syenites and agpaitic nepheline syenites are always depleted in  $\text{P}_2\text{O}_5$ , and thus in such rocks britholite often crystallizes instead of apatite (as its silicate analogue). A positive correlation was found between the content of phosphorus ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) and iron ( $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), as well as between  $\text{P}_2\text{O}_5$  and  $\text{TiO}_2$  in the syenites of the gabbro-syenitic complexes. The geochemical behavior of phosphorus and the chemistry of femic minerals (mafic index, alkalinity) can be the criteria for their petrogenesis and the evaluation of their ore ability.

*Keywords:* phosphorus, nepheline syenites, alkaline syenites, rock complexes, apatite.

*Кривдик С.Г.*

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

*Дубина А.В.*

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

*Институт геологии Киевского национального университета имени Тараса Шевченко*

**Фосфор в сиєнітах как індикатор петрогенезиса и рудоносности щєлочных комплексов Украинского щита**

Концентрация фосфора в различных типах нефелиновых и щєлочных сиєнитов Украинского щита зависит от принадлежности этих пород к щєлочно-ультраосновному (карбонатитовому) или габбро-сиєнитовому комплексам щєлочных или субщєлочных пород. Кроме того, в каждом конкретном типе сиєнитов содержание фосфора зависит от степени дифференцированности породы. Конечные дифференциаты, эгириновые и рибекитовые сиєниты и апгаитовые нефелиновые сиєниты всегда обеднены  $P_2O_5$  и в них часто вместо апатита кристаллизуется его силикатный аналог – бритолит. В сиєнітах габбро-сиєнитового комплекса выявлена положительная корреляция между содержанием фосфора ( $P_2O_5$ ) и железа ( $FeO + Fe_2O_3$ ), а также между  $P_2O_5$  и  $TiO_2$ . Геохимическое поведение фосфора и химизм фемических минералов (железистость, щєлочность) могут быть критерием определения их петрогенезиса и оценки их перспективной рудоносности.

*Ключевые слова:* фосфор, нефелиновый сиєнит, щєлочной сиєнит, комплексы пород, апатит.

**Надійшла 30.09.2018.**