

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.048>
УДК 549.552.331 (477)

О.Ю. Цимбал, аспірант

E-mail: tsymlbaloleksandra1@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8800-9899>

С.Г. Кривдік, д-р геол.-мін. наук, проф.

E-mail: kryvdik@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8356-1115>

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, просп. Акад. Палладіна, 34

ПІРОКСЕНИ ЛУЖНО-УЛЬТРАОСНОВНИХ ПОРІД ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

У лужно-ультраосновних породах (мельтейгіти, якупірангіти) північно-західної частини Українського щита клінопіроксени представлені переважно діопсидами з різним вмістом Cr_2O_3 (до 2,4 %, хромдіопсиди), Na_2O і Al_2O_3 (до 7,6 %). Проте загалом (за винятком двох зразків) відсутня кореляція між вмістом Al_2O_3 і Cr_2O_3 . Натрій входить до складу акмітового, космохлорового або жадейтового міналів. У піроксенах із високим вмістом Al_2O_3 алюміній входить переважно в тетраедричні позиції. Зрідка трапляються піроксени (зокрема егірини) з підвищеним вмістом TiO_2 (до 1,5 %). Обмежено розвинуті егірин і проміжні між останнім і діопсидом егірин-діопсиди, які могли кристалізуватись у найменш еродованих дайкових породах, складених мельтейгіт-порфірами з підвищеною агнайтіністю ($(\text{Na} + \text{K}/\text{Al}) \approx 1$). Переважна кількість досліджуваних піроксенів кристалізувались із магнезійних (до 22 % MgO) примітивних лужно-ультраосновних розплавів у гіпібасальних інтрузіях. Припущено, що обмежена кількість проміжних егірин-діопсидів або розрив у серії діопсид-егірин зумовлена також кристалізацією лужних і сублужних амфіболів.

Ключові слова: лужно-ультраосновні породи, діопсид, хромдіопсид, егірин-діопсид, егірин.

Вступ. Лужно-ультраосновні породи (ЛУП) ійоліт-якупірангітової серії та мельтейгіт-порфіри північно-західної частини Українського щита (УЩ) відомі ще з 1990-х рр. [8], а натепер разом із пізніше виявленими проявами цих порід становлять нову провінцію лужних порід в Україні (виявлено невеликі інтрузії на чотирьох ділянках). Під час тривалого дослідження цих порід [1, 2, 5, 7–9] з'ясовано, що вони є найпримітивнішими в петрологічному аспекті, порівняно з однойменними породами України і світу. Принаймні нам не відомі аналогічні ЛУП за рівнем диференційованості ("примітивності") в інших регіонах.

Головними породоутворювальними мінералами досліджуваних порід є клінопіроксен, нефелін, олівін та амфіболи. Породи, як і піроксени з них, виявились також незвичними ("примітивними"), порівняно з однойменними мінералами з ЛУП інших регіонів. Оригінальними є також амфіболи з цих порід, яким автори планують присвятити окрему статтю. Піроксени досліджуваних порід заслуговують на увагу ще й через те, що вони є первинними мінералами і, на відміну від нефеліну та частково олівіну, добре збереглись і, як правило, не зазнали накладених вторинних перетворень, хоча інколи заміщені амфіболами. Водночас нефелін найчастіше заміще-

Цитування: Цимбал О.Ю., Кривдік С.Г. Піроксени лужно-ультраосновних порід північно-західної частини Українського щита. *Мінерал. журн.* 2023. 45, № 4. С. 48–56. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.048>

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2023. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

ний вторинними продуктами (шпреуштейн, цеоліти, серицит), а олівін нерідко серпентинизується (хоча подеколи зберігся і був придатним для мікрозондового дослідження).

У пропонованій статті узагальнено практично всі відомі авторам результати мікрозондового аналізу піроксенів лужно-ультраосновних порід північно-західної частини УЩ. Також для порівняння у таблицях і на рисунках (діаграмах) показано результати, наведені у попередніх публікаціях [1, 2, 5, 8, 10].

Мета роботи. За результатами мікрозондових досліджень виявити характерні та специфічні особливості хімізму піроксенів лужно-ультраосновних порід північно-західної частини Українського щита, надати петрогенетичну інтерпретацію досліджуваних порід і мінералів.

Методи досліджень. Хімічний склад піроксенів визначено за допомогою мікрозондових

досліджень. Більшість аналізів виконано у Технічному центрі НАН України (аналітики В.Б. Соболев, О.С. Іванов), частина — в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (аналітик А.М. Верещак). Аналізи виконано за стандартними методиками.

Текстурно-структурні особливості піроксенвмісних порід. Натепер у північно-західному районі УЩ виявлено чотири ділянки з невеликими інтрузіями і дайками ЛУП (Городницька, Глумчанська, Болярківська, Губківська), геологічну будову яких розглянуто в попередніх публікаціях [1, 2, 5, 8, 10]. Ще раніше виявлено і досліджено лужні метасоматити Березової Гаті, трактовані як феніти, пов'язані з карбонатитовим комплексом (або лужно-ультраосновними породами) [4]. У всіх проявах ЛУП наявний характерний для такого типу порід клінопіроксен, варіації вмісту якого становлять від 30—40 % (в

Таблиця 1. Хімічний склад (мікрозондові аналізи) клінопіроксенів лужно-ультраосновних порід Городницької інтрузії

Table 1. Chemical composition (microprobe analyzes) of clinopyroxenes in alkaline-ultrabasic rocks from Gorodnytsya intrusion

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	52,94	54,12	52,07	51,05	52,31	51,99	52,61	52,28	52,91	53,02	53,15	54,98
TiO ₂	0,06	0,06	0,22	0,22	0,28	0,15	0,22	0,23	0,27	0,22	0,2	0,13
Al ₂ O ₃	0,46	0,16	2,31	2,62	2,50	3,86	4,05	3,18	2,57	0,26	2,38	0,57
Cr ₂ O ₃	0,02	Сліди	0,65	0,68	0,78	Сліди	0,92	1,33	0,78	0,71	0,92	0
FeO	3,86	5,04	3,53	3,52	3,40	2,94	3,36	3,11	3,45	2,86	2,65	3,32
MnO	0,14	0,27	0,07	0,12	0,18	0,28	0,20	0,1	0,11	0,05	0,23	0,38
MgO	15,76	14,85	15,61	16,58	15,36	16,08	15,39	15,77	15,85	15,5	16,02	16,19
CaO	25,02	24,61	24,81	24,48	24,27	23,78	22,85	22,67	24,21	24,54	24,38	24,52
Na ₂ O	0,28	0,44	0,44	0,54	0,55	1,42	0,60	0,73	0,34	0,43	0,45	0,39
K ₂ O	—	—	—	—	—	—	—	0	0,02	0,01	0	0,1
Σ	99,04	99,55	99,71	99,81	99,63	100,50	100,20	99,4	100,3	100,1	100,38	100,53
<i>Кількість катіонів у кристалохімічній формулі (розраховано на 4 катіони)</i>												
Si	2,01	2,00	1,91	1,86	1,92	1,87	1,91	1,92	1,92	1,99	1,93	2,00
Al	0,02	0,01	0,10	0,11	0,11	0,16	0,17	0,14	0,11	0,01	0,10	0,03
Ti	—	—	0,01	0,01	—	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	—
Cr	—	—	0,02	0,02	0,02	—	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	—
Fe	0,12	0,16	0,09	0,11	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10
Mn	—	0,01	—	—	0,01	0,01	0,01	—	—	—	0,01	0,01
Mg	0,78	0,82	0,85	0,89	0,84	0,86	0,83	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88
Ca	1,04	0,98	0,97	0,96	0,95	0,91	0,89	0,89	0,94	0,99	0,95	0,95
Na	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,10	0,04	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02
Mg#	0,88	0,84	0,89	0,89	0,89	0,91	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,888

Примітка. 1—7 — св. 420, гл. 50,8—51,1 м (ан. 1, 2); 99,6—101,6 м (ан. 3—7); 8—12 — св. 421, гл. 58,6—59,7 м; ан. 12 — включення піроксену в перовськіті.

Note. 1—7 — drillhole 420, depth 50.8-51.1 m (an. 1, 2); 99.6-101.6 m (an. 3-7); 8-12 — drillhole 421, depth 58.6-59.7 m; an. 12 — inclusion of pyroxene in perovskite.

Таблиця 2. Хімічний склад (мікрозондові аналізи) піроксенів із лужно-ультраосновних порід інтрузії
 Table 2. Chemical composition of pyroxenes (microprobe analyzes) in alkaline-ultrabasic rocks from Glumcha

Номер з/п	Компонент											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	Σ
1	52,70	0,44	2,27	0,85	3,94	0,11	15,83	20,91	0,73	—	0,03	97,81
2	51,91	0,46	2,10	0,13	4,81	0,10	15,59	22,33	1,07	—	0,05	98,55
3	51,28	0,53	3,73	1,39	4,25	0,04	14,95	20,07	1,01	Сліди	0,03	97,28
4	47,48	0,42	3,90	1,42	4,52	—	11,22	22,08	1,25	0,57	0,03	96,78
5	51,95	0,54	3,92	1,32	4,13	0,06	15,05	19,89	1,07	—	—	98,93
6	49,90	0,56	3,68	1,17	4,37	0,06	15,33	22,70	1,01	Сліди	0,07	98,85
7	52,77	0,41	2,44	0,50	4,11	0,03	15,96	20,60	0,70	—	—	97,52
8	50,73	0,35	2,73	0,67	4,35	0,11	16,24	21,17	1,02	0,25	0,02	97,64
9	51,58	0,58	2,36	0,12	5,35	0,07	15,25	21,04	0,52	Сліди	—	96,87
10	50,16	0,62	2,38	0,13	5,00	0,12	15,55	23,04	0,59	—	0,02	97,61
11	51,02	0,55	3,81	1,56	4,11	0,06	14,84	20,60	1,01	0,01	0,05	97,62
12	50,82	0,36	2,64	1,14	4,10	0,20	16,28	21,75	0,98	Сліди	0,03	98,30
13	50,48	0,49	3,53	1,35	4,04	0,10	14,93	21,42	1,06	"	0,04	97,44
14	49,21	0,53	3,84	1,52	4,18	0,12	15,20	21,55	1,44	—	0,06	97,35
15	50,89	0,50	3,87	1,67	4,14	0,08	15,03	19,07	1,19	—	—	96,44
16	49,70	0,48	3,87	1,58	4,08	0,09	15,43	22,29	1,28	—	0,03	98,83
17	50,46	0,47	4,10	1,71	3,92	0,03	14,92	18,50	1,28	Сліди	—	95,39
18	49,52	0,46	4,09	1,73	4,52	0,12	15,46	22,15	1,38	"	—	99,43
19	50,84	0,44	3,78	1,61	4,19	0,09	14,99	20,04	1,28	"	0,04	97,30
20	54,82	0,32	2,77	1,04	3,93	0,12	16,05	20,28	0,98	—	—	100,31
21	53,71	0,40	2,77	0,93	4,14	0,10	15,66	20,67	0,84	—	—	99,22
22	54,60	0,39	2,75	0,59	3,85	0,05	15,93	21,02	0,82	—	—	100,00
23	54,31	0,51	2,39	0,15	4,93	—	15,31	21,67	0,63	0,01	—	99,91
24	53,55	0,62	3,41	0,69	4,13	0,08	14,84	21,89	0,72	—	—	99,93
25	52,84	0,48	4,23	1,58	4,10	0,07	14,79	20,17	1,31	—	—	99,57
26	52,67	0,38	4,11	1,40	4,06	0,07	15,08	20,68	1,32	—	—	99,77

Таблиця 3. Хімічний склад (мікрозондові аналізи) піроксенів із лужно-ультраосновних порід Болярка
 Table 3. Chemical composition (microprobe analyzes) of pyroxenes in alkaline-ultrabasic rocks from Bolyarka

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	53,84	53,84	52,90	53,88	53,41	53,8	53,25	53,9	54,0	53,18	51,14	53,66	52,16	53,8	52,67
TiO ₂	0,21	0,66	0,33	0,3	0,71	0,17	0,39	0,27	0,22	0,16	0,47	0,07	0,2	0,05	0,21
Al ₂ O ₃	0,33	0,46	3,13	3,73	2,48	2,78	3,03	2,36	3,51	2,98	3,68	0,71	2,89	0,4	2,62
Cr ₂ O ₃	0,15	0,07	1,26	1,05	0,03	0,9	0,48	1,23	0,96	1,6	1,52	0,12	1,36	0,06	1,23
FeO	16,91	19,78	6,96	5,8	5,88	6,87	4,29	4,99	5,84	2,75	4,34	6,96	3,5	8,27	3,43
MnO	0,25	0,42	0,04	0,08	0,06	0,03	0,1	0,04	0,07	0,1	0,06	0,19	0,1	0,17	0,08
MgO	7,59	5,88	12,36	12,72	12,45	11,54	13,53	13,38	12,97	16,93	14,46	14,05	15,61	12,91	15,42
CaO	11,25	10,99	21,22	21,22	22,81	20,67	23,12	22,92	21,11	20,41	23,02	20,94	21,28	20,24	21,11
Na ₂ O	7,87	7,36	1,31	1,05	1,38	2,75	1,33	0,21	0,73	1,12	0,81	1,95	1,17	2,28	0,98
K ₂ O	0,01	0	0,01	0	0,02	0,05	0	0,02	0,01	—	—	—	—	—	—
NiO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,06	0	0	0,05	0,07	0,04
Σ	98,41	99,46	99,52	99,82	99,22	99,56	99,51	99,32	99,42	99,29	99,50	98,65	98,32	98,25	97,79
<i>Кількість катіонів у кристалохімічній</i>															
Si	2,00	2,02	1,96	1,98	1,98	2,00	1,96	2,02	1,98	1,94	1,90	1,99	1,93	2,01	1,97
Al	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,13	0,16	0,03	0,12	0,02	0,11
Ti	0,01	0,02	0,14	0,16	0,11	0,12	0,13	0,10	0,15	0,04	0,01	—	0,01	—	0,01
Cr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,05	0,04	—	0,04	—	0,04
Fe	0,53	0,62	0,22	0,18	0,18	0,21	0,13	0,16	0,18	0,09	0,10	0,22	0,11	0,26	0,11
Mn	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	—	0,00	—	—	0,01	—	0,01	—
Mg	0,42	0,33	0,68	0,69	0,69	0,64	0,74	0,74	0,71	0,92	0,80	0,78	0,86	0,72	0,86
Ca	0,45	0,44	0,84	0,83	0,91	0,82	0,91	0,92	0,83	0,80	0,92	0,83	0,84	0,81	0,84
Na	0,57	0,53	0,09	0,07	0,10	0,20	0,09	0,02	0,05	0,08	0,06	0,14	0,08	0,17	0,07
Mg#	0,438	0,343	0,750	0,793	0,793	0,753	0,851	0,822	0,798	0,91	0,888	0,772	0,886	0,727	0,886

Глумча, св. 127, гл. 34,4—35,5 м
intrusion, drillhole 127, depth 34.4-35.5 m

Кількість катіонів у кристалохімічній формулі (розраховано на 4)									
Si	Al	Ti	Cr	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	Mg#
1,97	0,10	0,01	0,02	0,12	—	0,88	0,84	0,05	0,88
1,92	0,09	0,01	—	0,15	—	0,86	0,88	0,08	0,85
1,92	0,16	0,01	0,05	0,13	—	0,84	0,81	0,07	0,87
1,79	0,17	0,01	0,05	0,14	—	0,85	0,89	0,09	0,86
1,94	0,17	0,02	0,04	0,13	—	0,84	0,80	0,08	0,87
1,81	0,16	0,01	0,04	0,14	—	0,84	0,90	0,07	0,86
1,98	0,11	0,01	0,01	0,13	—	0,89	0,82	0,05	0,87
1,86	0,12	0,01	0,02	0,14	—	0,92	0,86	—	0,87
1,95	0,11	0,02	—	0,17	—	0,86	0,86	0,08	0,86
1,88	0,11	0,02	—	0,16	—	0,87	0,85	0,04	0,83
1,91	0,17	0,02	0,05	0,13	—	0,83	0,83	0,07	0,86
1,88	0,11	0,01	0,03	0,13	0,01	0,90	0,90	0,07	0,89
1,89	0,15	0,01	—	0,13	—	0,83	0,86	0,08	0,86
1,84	0,17	0,01	—	0,13	—	0,85	0,86	0,08	0,87
1,93	0,17	0,01	0,05	0,13	—	0,85	0,78	0,09	0,87
1,83	0,17	0,01	0,05	0,13	—	0,85	0,88	0,09	0,87
1,93	0,18	0,01	0,05	0,12	—	0,85	0,76	0,09	0,88
1,81	0,18	0,01	0,05	0,14	—	0,86	0,87	0,10	0,86
1,91	0,17	0,01	0,05	0,13	—	0,84	0,80	0,09	0,87
1,99	0,12	0,01	0,03	0,12	—	0,87	0,79	0,07	0,88
1,98	0,12	0,01	0,03	0,13	—	0,86	0,82	0,06	0,87
1,99	0,12	0,01	0,02	0,12	—	0,87	0,82	0,06	0,88
1,99	0,10	0,01	0,00	0,15	—	0,84	0,85	0,04	0,85
1,96	0,15	0,02	0,02	0,13	—	0,81	0,86	0,05	0,87
1,94	0,18	0,01	0,05	0,13	—	0,81	0,79	0,09	0,87
1,92	0,18	0,01	0,04	0,12	—	0,82	0,81	0,09	0,87

кївської інтрузїї
intrusion

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
53,51	51,67	53,88	51,35	50,99	52,73	51,25	52,83	52,74	47,58	48,28	48,07	49,21	53,72	53,14	53,45	53,93
0,19	0,36	0,18	0,38	0,88	0,33	0,67	0,29	0,23	0,79	0,52	0,45	0,13	0,03	0,11	0,27	0,09
3,89	3,57	3,77	3,79	5,28	3,03	5,4	1,51	1,44	7,55	7,62	6,42	5,16	2,86	3,33	3,56	0,78
1,46	1,26	1,41	1,83	0,41	1,03	0,37	0,71	0,57	2,41	1,92	2,24	1,81	1,24	1,13	1,64	0,01
3,05	4	3,34	3,94	5,93	3,85	5,75	5,91	5,73	5,04	4,94	4,2	4,1	2,64	3,52	2,12	5,95
0,09	0,08	0,09	0,08	0,13	0,08	0,17	0,17	0,1	0,07	0,07	0,06	0,08	0,1	0,1	0,08	0,17
16,53	14,57	16,1	14,37	15,19	15,61	15,37	14,52	14,26	12,79	13,11	14,25	14,55	16,81	16,6	16,19	14,59
19,63	21,55	19,69	22,49	20,3	21,61	20,59	22,14	22,03	22,41	22,53	23,1	21,11	20,82	20,72	19,79	22,5
1,49	1,12	1,36	0,99	0,64	0,99	0,59	1,34	1,21	0,95	1,06	0,69	1,8	0,83	0,88	1,44	1,11
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,05	0	0,01	0,01	0	0	0,07	0	0	0,02	0	0,05	0,02	0,02	0,06	0,11	0,02
99,89	98,18	99,83	99,23	99,75	99,26	100,23	99,42	98,31	99,61	100,05	99,53	97,97	99,07	99,59	98,65	99,14
<i>формулі (розраховано на 4 катїони)</i>																
1,95	1,92	1,96	1,90	1,87	1,94	1,87	1,95	1,97	1,76	1,77	1,77	1,82	1,97	1,94	1,96	1,99
0,15	0,16	0,16	0,16	0,23	0,13	0,23	0,07	0,07	0,33	0,33	0,28	0,22	0,12	0,14	0,15	0,04
0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	—	0,01	0,02	0,01	0,01	0,004	—	—	0,01	—
0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,05	—
0,09	0,12	0,10	0,12	0,18	0,12	0,18	0,18	0,16	0,15	0,13	0,13	0,13	0,08	0,11	0,06	0,18
—	—	—	—	—	—	0,004	0,004	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01
0,89	0,81	0,87	0,79	0,83	0,85	0,84	0,80	0,79	0,70	0,72	0,78	0,80	0,92	0,90	0,89	0,80
0,76	0,86	0,77	0,89	0,80	0,85	0,81	0,87	0,88	0,89	0,88	0,91	0,84	0,82	0,81	0,78	0,89
0,10	0,08	0,10	0,07	0,05	0,07	0,04	0,10	0,09	0,07	0,07	0,05	0,13	0,06	0,06	0,10	0,08
0,908	0,871	0,897	0,868	0,822	0,876	0,823	0,816	0,814	0,844	0,828	0,857	0,86	0,92	0,891	0,937	0,808

ійоліт-мельтейгітах) понад 90 % (в якупірангітах). Загалом ці породи масивні, частіше дрібно-, рідше середньозернисті. Структурні співвідношення піроксену та нефеліну у породі загалом залежать від їхньої відносної кількості: мінерал, який переважає, є більш ідіоморфним. Позаяк серед ЛУП переважають меланократові види (мельтейгіти і якупірангіти), піроксен найчастіше більш ідіоморфний за нефелін. Піроксен частіше утворює ізометрично- або слабковидовжені кристалики, а в мельтейгіт-порфірах — розеткоподібні агрегати. У деяких малопотужних дайках (жилах) ЛУП ділянки Глумча відмічено вкраплення (мікрівкрапленики) безбарвного клінопіроксену з "віспуватими" дрібними цятками, але, на жаль, цей піроксен не проаналізовано. Зауважимо, що олівін (форстерит) — завжди найбільш ідіоморфний мінерал.

У шліфах піроксен майже безбарвний або світло-зеленуватий (в зернах під бінокляром він світлий трав'яно-зелений). Лише егірин

збарвлений інтенсивніше, але цей мінерал у власне магматичних породах як первинний трапляється зрідка. Егірин властивіший екзоконтактовим апогранітоїдним фенітам і, очевидно, в магматичних ЛУП кристалізується в результаті заміщення ксенолітів (дрібних уламків) фенітів. Водночас у таких випадках утворюється і лужний амфібол рибекіт-арфведсонітової серії.

Особливості хімізму піроксену. Згідно з переважною більшістю результатів мікрозондового аналізування (табл. 1—4), клінопіроксени мають склад діопсиду з незначним або підвищеним вмістом Na_2O , Al_2O_3 і Cr_2O_3 і загалом низьким FeO (Fe_2O_3). Водночас Cr_2O_3 і Na_2O наявні у всіх піроксенах суттєво діопсидового складу за винятком двох аналізів практично стехіометричного діопсиду (табл. 4, ан. 10, 11). Найвищий вміст Cr_2O_3 — 2,24 і 2,41 % зафіксовано двома аналізами піроксену з Болярківської інтрузії, тобто такі піроксени можна називати хромдіопсидами. У піроксенах цих аналізів доволі високий (або

Таблиця 4. Хімічний склад (мікрозондові аналізи) піроксенів із лужно-ультраосновних порід Губківської
Table 4. Chemical composition (microprobe analyzes) of pyroxenes in alkaline-ultrabasic rocks from Gubkiv

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	51.72	50.17	51.96	51.82	51.2	53.59	51.37	51.97	49.11	55.22
TiO_2	1,58	0,19	0,13	0,54	0,42	0,07	0,53	0,12	1,25	0
Al_2O_3	1,12	2,86	2,89	2,55	3,14	0,85	3,17	2,8	4,68	0,05
Cr_2O_3	0,22	0,66	0,66	0,58	0,84	0,72	0,96	0,29	0,42	0
FeO	17,31	5,18	5,25	4,34	4,12	3,26	4,36	5,71	6,22	0,53
MnO	0,32	0,13	0,16	0,07	0,09	0,13	0,04	0,18	0,08	0,09
MgO	6,51	16,61	16,44	15,5	15,29	18,12	15,02	16,65	13,51	18,49
CaO	12,23	20,64	20,63	22,94	22,47	21,29	22,64	20,59	23,58	25,77
Na_2O	7,15	0,67	0,66	0,59	0,77	0,37	0,74	0,58	0,74	0
K_2O	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0
NiO	—	0,04	0,03	0	0,11	0,05	0,01	0,06	0,02	0
Σ	98,18	97,14	98,82	98,94	98,46	98,43	98,82	98,94	99,61	100,2
<i>Кількість катіонів у кристалохімічній</i>										
Si	1,96	1,88	1,92	1,92	1,90	1,97	1,90	1,92	1,82	1,99
Al	0,05	0,13	0,13	0,11	0,14	0,04	0,14	0,12	0,20	0,00
Ti	0,05	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00
Cr	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
Fe	0,55	0,16	0,16	0,13	0,13	0,10	0,14	0,18	0,19	0,02
Mn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Mg	0,37	0,93	0,90	0,85	0,85	0,99	0,83	0,91	0,75	0,99
Ca	0,50	0,83	0,82	0,91	0,89	0,84	0,90	0,81	0,94	1,00
Na	0,52	0,05	0,05	0,04	0,06	0,03	0,05	0,04	0,05	0,00
K										
Mg#	0,38	0,85	0,85	0,86	0,87	0,91	0,86	0,84	0,79	0,98

найвищий) і вміст Al_2O_3 — 6,42 і 7,55 %, а також підвищений Na_2O — 0,69 і 0,95 %. Доволі часто трапляються піроксени, в яких вміст Cr_2O_3 становить ~1,0 %, а часом досягає 1,6—1,7 %, однак найчастіше він становить 0,4—0,7 %. До того ж у таких піроксенах не виявлено позитивної кореляції між Cr_2O_3 і Al_2O_3 , як у деяких зразках із найвищим Cr_2O_3 . Вміст Al_2O_3 загалом низький (у піроксенах з незначним Cr_2O_3). Окрім того, в деяких аналізах піроксенів із Губківського прояву є підвищений вміст Al_2O_3 (до 6,32 %) за низького Cr_2O_3 , але доволі високого (як для низькотитаністичних досліджуваних піроксенів цього району) TiO_2 (1,28—1,48 %). Навіть в одному аналізі егірину зафіксовано 1,26 % TiO_2 .

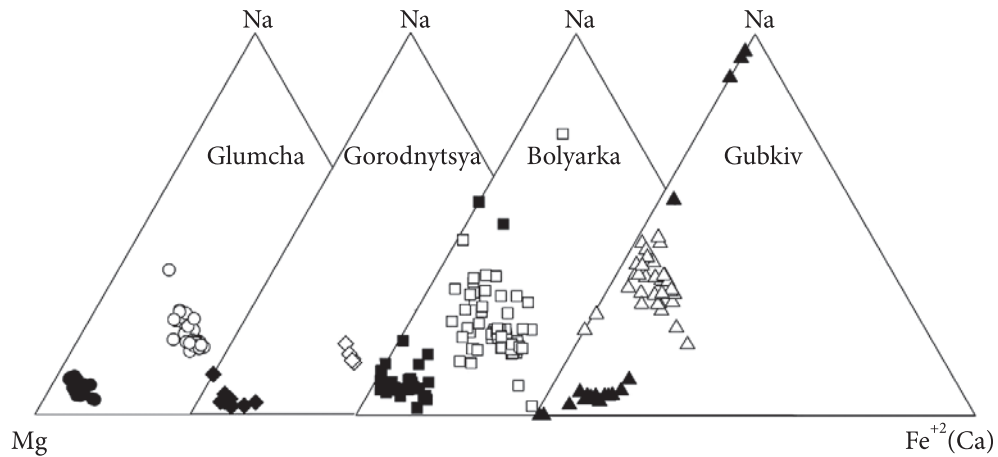
Як зазначено вище, майже всі піроксени містять Na_2O , найчастіше в межах 0,6—0,8, нерідко 1,0 % і трохи більше (до 1,3—1,3 %), а в поодиноких аналізах — 1,8; 1,95; 2,28 і навіть 2,75 %. В останньому випадку розраховано 20 % акмітового міналу в кристалохімічній формулі мінералу. Більш лужні піро-

ксени (з вищим вмістом $NaFe^{3+}Si_2O_3$) для досліджуваних порід не характерні. Під час мікрозондових досліджень були зафіксовані лише по одному аналізу в Болярківському та Губківському проявах зерна піроксену проміжного складу між діопсидом і егірином (акмітом), в яких вміст Na_2O становив 7,15 і 7,87 %, що відповідає близько 50 % акмітового міналу, тобто є егірин-діопсидами (табл. 3, ан. 1, 2; табл. 4, ан. 1).

У Губківському прояві з 22 проаналізованих зерен піроксену п'ять виявились егіринами з 12,75—14,31 % Na_2O , 16 — діопсидами, а один, як вказано вище, егірин-діопсидом. У лужно-ультраосновних породах інших проявів егірину не зафіксовано. Раніше згадано, що у шліфах із магматичних порід цих проявів первинний егірин не спостерігали. Можливо, що егірин разом із лужним амфіболом утворився як реакційний мінерал у процесі взаємодії лужно-ультраосновного розплаву з дрібними ксенолітами фенітизованих гранітоїдів.

інтрузії
intrusion

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
54.72	47.76	51.82	52.43	51.82	48.33	52.66	52.95	50.89	51.85	52.3	52.95
0,01	1,47	0,76	0,57	0,78	1,48	0,52	0,64	0,32	1,26	0,17	0,64
0,08	4,64	3,1	2,67	3,24	6,32	2,65	1,5	1	1,36	3,08	1,50
0	0	0	0,55	0	0,12	0,21	0	0,02	0,02	0,03	0,0
0,44	7,87	5,9	4,56	6,09	6,78	5,32	27,21	26,77	25,95	22,49	27,21
0,08	0,13	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,02	0	0,03	0,26	0,02
18,33	12,65	14,54	15,34	14,58	12,91	15,17	0,85	1,15	0,86	2,09	0,85
25,71	22,04	23,18	23,61	23,13	22,89	23,37	0,8	0,93	0,7	3,5	0,80
0	1,17	0,67	0,6	0,68	0,81	0,64	13,83	13,85	14,31	12,75	13,83
0,01	0	0	0	0,01	0,02	0,01	—	—	—	—	0,01
0	0	0,02	0	0	0,07	0	—	—	—	—	—
99,38	97,71	100,1	100,4	100,4	99,81	100,6	98,8	94,93	96,34	96,67	97,84
<i>формулі (розраховано на 4 катіони)</i>											
1,99	1,81	1,90	1,91	1,90	1,79	1,92	1,98	1,95	1,96	1,96	1,98
0,00	0,21	0,13	0,11	0,14	0,28	0,11	0,07	0,05	0,06	0,14	0,07
0,00	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,00	0,02
0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,01	0,25	0,18	0,14	0,19	0,21	0,16	0,85	0,86	0,82	0,71	0,85
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
0,99	0,71	0,80	0,83	0,80	0,71	0,82	0,05	0,07	0,05	0,12	0,05
1,00	0,89	0,91	0,92	0,91	0,91	0,91	0,03	0,04	0,03	0,14	0,03
0,00	0,09	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	1,00	1,03	1,05	0,93	1,00
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
0,99	0,74	0,81	0,86	0,81	0,77	0,84	0,05	0,07	0,06	0,14	0,06



Спарені діаграми піроксенів Na — Mg — Fe²⁺ (чорні кола, ромби, квадрати, трикутники) і амфіболів, що асоціюють із ними; Na — Mg — Ca (світлі кола, ромби, квадрати, трикутники) у лужно-ультраосновних породах Глумчанської, Городницької, Болярківської та Губківської інтрузій

Paired diagrams of pyroxenes Na — Mg — Fe²⁺ (black circle, rhombus, square, triangle) and associated amphiboles; Na — Mg — Ca (light circle, rhombus, square, triangle) in alkaline-ultrabasic rocks from Glumcha, Gorodnytsya, Bolyarka and Gubkiv intrusions

Діопсиди досліджуваних ЛУП характеризуються доволі низьким вмістом FeO (Fe₂O₃), якщо зважати на підвищений фоновий вміст у них Na₂O. За розрахованими кристалохімічними формулами в більшості випадків кількість катіонів Na і Fe майже повністю "об'єднуються" в акмітовий мінал, а на геденбергітовий мінал залишається зовсім мало або проявляється дефіцит Fe(Fe²⁺). Якщо в формулі Na > Fe, то окрім акмітового можна розраховувати жадеїтовий (NaAlSi₂O₆) або космохлоровий (NaCrSi₂O₆) мінали (залежно від кількості Al_{VI} і Cr).

Проявляються деякі особливості хімізму піроксенів у різних інтрузіях ЛУП, що частково може бути зумовлено різною кількістю виконаних аналізів цих мінералів. Так, в Глумчанській та Городницькій інтрузіях виявлено тільки суттєво діопсидові різновиди піроксенів, у Болярківській трапляються діопсиди з підвищеним вмістом (до 20 %) акмітового міналу, або й проміжні між діопсидом і егірином егірин-діопсиди.

Для досліджуваних піроксенів (суттєво діопсидового складу) характерні помірний або підвищений вміст Cr₂O₃ (хромдіопсиди). У породах Губківської інтрузії також переважають діопсиди з низьким і помірним вмістом Cr₂O₃. Хоча трапляються як "чисті" діопсиди та егірини, так і проміжні егірин-діопсиди.

Обговорення отриманих результатів і деякі петрогенетичні висновки.

У ЛУП північно-західного району УЩ породотворювальні піроксени представлені переважно діопсидами з різним вмістом Cr (зокрема хромдіопсиди), Na і Al. Зрідка трапляються егірин-діопсиди. Для всіх піроксенів, серед яких і з підвищеним або й високим вмістом акмітового міналу, характерний незначний вміст геденбергітового (CaFeSi₂O₆) міналу, іноді він взагалі відсутній. Тому на діаграмі Na — Mg — Fe²⁺ (рисунок) досліджувані піроксени розташовані в "діопсидовому куті" або прилягають до осі Di — Aeg.

Відсутність або незначну кількість проміжних між діопсидом та егірином різновидів піроксенів у досліджуваних ЛУП можна частково пояснити кристалізацією сублужних і лужних амфіболів, які "заповнюють" розрив у складі піроксенів серії діопсид-егірин, як це показано на спарених діаграмах Na — Mg — Fe²⁺ (піроксени) і Na — Mg — Ca (амфіболи) (рисунок). Цю спарену діаграму запропоновано у [10], її часто використовують дослідники лужних порід.

Піроксени з лужних порід інших комплексів УЩ (лужно-ультраосновних і габро-сієнітових), як це проілюстровано в попередніх публікаціях [4], розташовані на діаграмі діопсид-егірин-геденбергіт (аналог Mg — Na —

Fe²⁺) значно правіше від осі Di — Aeg та у її центрі. Деяку подібність із досліджуваними мають піроксени Покрово-Кириївського масиву, тренд еволюції хімізму яких іде вздовж лінії Di — Aeg (Na — Mg) [5], і зміщується праворуч від тренду піроксенів Губківського прояву. До виявлення ЛУП північно-західної частини УЩ Покрово-Кириївський масив вважався найменш еродованим (гіпабісальним) серед інших проявів лужних порід УЩ.

У публікаціях, присвячених лужним породам УЩ, узагальнених у роботі [4], акцентовано увагу на тому, що у глибше еродованих масивах (абісальна фація) фемічні мінерали (зокрема піроксени) мають вищу залізистість, а також знижену лужність (відсутність власне егіринів і лужних амфіболів). Так, піроксени Чернігівського, Проскурівського та Антонівського масивів мають переважно егірин-салітовий (егірин-феросалітовий) склад. З глибиною знижується також титанистість фемічних мінералів [3].

Подібні міркування висловлено і щодо проявів ЛУП північно-західної частини УЩ, які, очевидно, є менше еродованими за інші масиви лужних порід УЩ. Є підстави вважати, що найменш еродованим із досліджуваних проявів є Губківський (мельтейгіт-порфіри). Це загалом узгоджується з хімізмом розглянутих піроксенів. Так, у Губківському прояві піроксени загалом більш титанисті (до 1,5 % TiO₂) за Городницькі, Глумчанські і Болярківські. На Губківському прояві трохи більше егірину, а також значне поширення мають лужні амфіболи (які планується розглянути в окремій статті).

Кристалізація досліджуваних піроксенів із магнезійних примітивних (слабко диференційованих) лужно-ультраосновних розплавів у гіпабісальних умовах зумовила їхній специфічний ("примітивний") склад. Окрім високої магнезійності, до складу піроксенів увійшли Cr, Na, Al (компоненти лужно-ультраосновних магм).

ЛІТЕРАТУРА

1. Баран А.М. Геологія сублужних і лужних базит-ультрабазитів Новоград-Волинського блоку (Волинський мегаблок Українського щита): автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2012. 20 с.
2. Баран А., Гейко Ю., Загнітко В. Геологічна будова та особливості речовинного складу олівінових мельтейгітів Болярської дайки (Волинський мегаблок УЩ). *Вісн. Київ. нац. ун-ту Тараса Шевченка. Геологія*. 2011. 55. С. 4—8.
3. Кривдік С.Г. Деякі особливості хімізму фемічних мінералів магматичних порід залежно від їхньої лужності. *Мінерал. журн.* 2017. 39, № 1. С. 84—99. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.01.084>
4. Кривдік С.Г., Ткачук В.И. Петрологія щелочних порід Українського щита. Київ: Наук. думка, 1990. 408 с.
5. Кривдік С.Г., Цымбал С.Н., Гейко Ю.В. Протерозойський щелочно-ультраосновний магматизм северо-западной части Украинского щита как индикатор кимберлитобразования. *Мінерал. журн.* 2003. 25, № 5/6. С. 57—69.
6. Кривдік С.Г., Шаригін В.В., Гаценко В.О., Луньов Є.С. Піроксени Покрово-Кириївського масиву (Приазов'я, Україна). *Мінерал. журн.* 2016. 38, № 3. С. 24—38. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.38.03.024>
7. Цымбал С.Н., Гейко Ю.В., Кривдік С.Г., Баран А.Н., Цымбал Ю.С. Болярковская интрузия щелочно-ультраосновных пород (северо-запад Украинского щита). "Актуальные проблемы Беларуси и смежных территорий". *Тр. Междунар. науч. конф., Минск, 8—9 декаб. 2008 г.* Минск, 2008. С. 35—40.
8. Цымбал С.Н., Щербаков И.Б., Кривдік С.Г., Лабузний В.Ф. Щелочно-ультраосновные породы Городницкой интрузии (Северо-Запад Украинского щита). *Мінерал. журн.* 1997. 19, № 3. С. 61—80.
9. Цымбал С.Н., Кривдік С.Г., Цымбал Ю.С., Гейко Ю.В., Баран А.Н. Минералогия щелочных ультраосновных пород Болярской интрузии (Северо-Западный район Украинского щита). *Геохимия магматических пород: XXVI Междунар. конф.-школа "Геохимия щелочных пород", 11—15 мая 2009.* Москва, 2009.
10. Ferguson A.K. The crystallization of pyroxenes and amphiboles in some alkaline rocks and the presence of a pyroxene compositional gap. *Contr. Mineral. and Petrol.* 1978. 67, Iss. 1. P. 11—15. <https://doi.org/10.1007/BF00371628>

Надійшла 30.04.2023

REFERENCES

1. Baran, A.M. (2012), *Geology of subalkaline and alkaline basite-ultrabasite of the Novohrad-Volyn block (Volyn megablock of the Ukrainian Shield)*, Abstract dis. cand. geol. of sci., Kyiv, 20 p. [in Ukrainian].
2. Baran, A., Geiko, Yu. and Zagnitko, V. (2011), *Visn. Taras Shevchenko Nat. Univ. Kyiv, Geology*, Vol. 55, pp. 4-8 [in Ukrainian].
3. Kryvdik, S.G. (2017), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 39, No. 1, pp. 84-99. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.01.084>
4. Kryvdik, S.G. and Tkachuk, V.I. (1990), *Petrology of alkaline rocks of the Ukrainian Shield*, Nauk. dumka, Kyiv, 408 p. [in Russian].
5. Kryvdik, S.G., Tsymbal, S.N. and Geiko, Yu.V. (2003), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 25, No. 5-6, pp. 57-69 [in Russian].
6. Kryvdik, S.G., Sharygin, V.V., Gatsenko, V.O. and Lunev, E.S. (2016), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 38, No. 3, pp. 24-38 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.38.03.024>
7. Tsymbal, S.N., Geiko, Yu.V., Kryvdik, S.G. and Tsymbal, Yu.S. (2008), "Actual Problems of Belarus and Adjacent Territories": *Tr. Int. sci. conf.*, Minsk, Decem. 8-9, Minsk, pp. 35-40 [in Russian].
8. Tsymbal, S.N., Shcherbakov, I.B., Kryvdik, S.G. and Labuznyi, V.F. (1997), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 19, No. 3, pp. 61-80 [in Russian].
9. Tsymbal, S.N., Kryvdik, S.G., Tsymbal, Yu.S., Geiko, Ju.V. and Baran, A.N. (2009), *Geochemistry of magmatic rocks: XXVI Int. conf.-school "Geochemistry of alkaline rocks"*, May 11-15, 2009, Moscow, RU [in Russian].
10. Ferguson, A.K. (1978), *Contr. Mineral. and Petrol.*, Vol. 67, Iss. 1, pp. 11-15. <https://doi.org/10.1007/BF00371628>

Received 30.04.2023

O.Yu. Tsymbal, PhD Student

E-mail: tsymbaloleksandra1@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8800-9899>

S.G. Kryvdik, DrSc (Geology, Mineralogy), Prof.

E-mail: kryvdik@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8356-1115>

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

PYROXENES OF ALKALINE-ULTRABASIC ROCKS
FROM NORTH-WESTERN PART OF THE UKRAINIAN SHIELD

In alkaline-ultrabasic rocks from North-Western part of the Ukrainian Shield pyroxenes are predominantly presented by diopsides with various contents of Cr₂O₃ (up to 2.4%, chrome diopside), Na₂O and Al₂O₃ (to 7.6%). But correlation between contents of Al₂O₃ and Na₂O generally is absent except two samples. Sodium goes into composition of aegirine, cosmochlore or jadeite minerals. In pyroxenes with high Al₂O₃ aluminum goes into tetrahedral positions. Pyroxenes (include aegirines) with increase TiO₂ content (to 1.5%) rarely occur. Aegirine and intermediate between latter and diopside aegirine-diopsides have limited development. They could crystallize in at least eroded dike rocks that consist of melteigite porphyres with high aegirine ((Na+K)/Al ≈ 1). Majority of studied pyroxenes crystallized from magnesian (to 22% MgO) primitive alkaline-ultrabasic melts in hypabyssal intrusions. It is supposed that limited amount of intermediate aegirine-diopsides or a gap in series diopside-aegirine is caused by the crystallization of alkaline and subalkaline amphiboles.

Keywords: alkaline-ultrabasic rocks, diopside, chromium diopside, aegirine-diopside, aegirine.