

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.02.067>
УДК 549.643. (477)

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

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

О.Ю. Цимбал, аспірант

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

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

АМФІБОЛ ІЗ СЕРІЇ КЕРСУТИТІВ З ЛУЖНИХ ПОРІД ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

У північно-західній частині Українського щита, де широко розповсюджені лужно-ультраосновні породи якупірангіт-мельтейгітової серії, виявлено титано-магнієво-залізистий амфібол із серії керсутитів (фери-керсутит). Такі мінерали досить зрідка трапляються в природі. Цей мінерал наявний у породах есекситового складу, які утворюють прожилки та малопотужні апофізи від дайок порфіроподібних лужно-ультраосновних порід. За результатами мікрозондових досліджень вони мають такий хімічний склад, %: 39—40 SiO₂; 4,6—5,07 TiO₂; 14,6—14,9 Al₂O₃; 16,9—18,4 FeO_{tot}; 7,95—8,09 MgO; 10,5—11,0 CaO; 2,4—2,7 Na₂O і 2,7—2,9 K₂O. У власне лужно-ультраосновних (безпольовошпатових) породах району наявні різноманітні, але більш магнієві амфіболи (паргасити, рихтерити, магно-рибекіт, катофорит і проміжні між ними різновиди). У деяких з них фіксують збагачення на TiO₂ (до 2,90—3,20 %). Припускається, що амфібол із серії керсутитів утворився в апофізах і прожилках серед гранітоїдів рами за умов швидкої кристалізації і часткової контамінації лужно-ультраосновних розплавів.

Ключові слова: фери-керсутит, лужно-ультраосновні породи, есексити.

Вступ. У північно-західній частині Українського щита (УЩ) виявлено титано-магнієво-залізистий амфібол із серії керсутитів. За результатами мікрозондових досліджень, цей амфібол має такий хімічний склад, %: 39—40 SiO₂; 4,6—5,07 TiO₂; 14,6—14,9 Al₂O₃; 16,9—18,4 FeO_{tot}; 7,95—8,09 MgO; 10,5—11,0 CaO; 2,4—2,7 Na₂O і 2,7—2,9 K₂O. У власне лужно-ультраосновних (безпольовошпатових) породах району наявні різноманітні, але більш магнієві амфіболи (паргасити, рихтерити, магно-рибекіт, катофорит та інші проміжні між цими різновиди). У деяких із них зафіксовано збагачені на TiO₂ (до 2,90—3,20 %) різновиди.

Припускаємо, що амфібол із серії керсутитів утворився за умов швидкої кристалізації і часткової контамінації лужно-ультраосновних розплавів у апофізах і прожилках серед гранітоїдів рами.

Ідеалізована формула власне керсутиту, який є доволі рідкісним мінералом в Україні та й загалом у світі, — NaCa₂(Mg₃AlTi⁴⁺)[Al₂Si₆O₂₂]O₂. У серії керсутитів відомі також інші види: фери-керсутит — NaCa₂(Mg₃Fe³⁺Ti)(Si₆Al₂O₂₂)O₂; фери-керсутит — NaCa₂(Fe²⁺AlTi)(Si₆Al₂O₂₂)O₂ і калі-фери-керсутит — KCa₂(Mg₃Fe³⁺Ti)(Si₆Al₂O₂₂)O₂. Якщо в кристалохімічній формулі міститься один

Цитування: Кривдік С.Г., Цимбал О.Ю. Амфібол із серії керсутитів з лужних порід північно-західної частини Українського щита. *Мінерал. журн.* 2024. 46, № 2. С. 67—73. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.02.067>

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

катион Ti і відповідне число (згідно з наведеними формулами) інших катіонів, то в мінералі повинно бути близько 10 % TiO_2 . Аналіз такого високотитанистого (10,33 % TiO_2) амфіболу з Керсуту (Гренландія) (Kaersut, Greenland) наводився тільки у відомому довіднику (Deer, Howie, Susmann, 1965), проте в природних амфіболах, названих керсутитами, вміст TiO_2 найчастіше становить 4,5—5,0; рідше 6—8 %.

Зараз важко дати однозначну відповідь, чи існує в природі керсутит із таким високим вмістом (~10 % TiO_2) і одним катіоном Ti у формулі. Повторний аналіз, який виконав А.Л. Литвин (Litvin, 1977), не підтвердив такий високий вміст TiO_2 в одному зі зразків амфіболу з Керсуту. За отриманими ним даними, вміст TiO_2 — 5,79 % (замість 10,33), тобто такий самий, як і в більшості інших природних амфіболів, названих керсутитами.

Окрім того, у доступних нам публікаціях про керсутит серед останніх переважають Fe-Mg-різновиди, в яких $\text{Mg} > \text{Fe}$. Рідше траплялись результати аналізів цього мінералу, в яких $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ становить 0,43—0,46 і не траплялись сильно залізисті (як і крайне магнієві) різновиди. Тому такі і більш залізисті керсутити є цікавими з мінералогічної і петрологічної точок зору. У пропонованій статті розглянуто титано-магнієво-залізистий керсутитоподібний амфібол з $\text{Mg\#}$ 0,41—0,46, який виявлено в лужних породах північно-західної частини УЩ.

Мета роботи — порівняти результати досліджень амфіболу з лужних порід північно-західної частини УЩ з мінералами серії керсутиту інших регіонів і зробити деякі петрологічні висновки щодо його походження.

Методи досліджень — петрографічні спостереження в шліфах, мікрозондові визначення хімічного складу мінералів за допомогою мікроаналізатора *Cameca SX50* (за стандартною методикою, виконано в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, аналітик В.А. Верещак).

Керсутити в лужних породах і лампрофірах України. Керсутити, а точніше амфіболи, названі керсутитами, було виявлено майже одночасно (Yuryev, 1967; Yermenko, 1968) в лампрофірах і мончикітах Приазов'я. Пізніше керсутити було описано в рудних пі-

роксенітах Хомутівської аномалії (Kravchenko, Donskoy, 1999) та рудних піроксенітах і дайкових породах Покрово-Київського масиву (Hatsenko, Kurylo, 2021). Керсутити наявні і в сублужних габроїдах (неопубліковані дані) Маріупольського масиву (сучасна назва невеликого масиву поблизу Маріуполя). Окрім того, керсутит було виявлено також у не зовсім звичній геологічній обстановці, на контакті Девладівської дайки ультраосновних порід із демурирськими гранітами в Середньому Придніпров'ї (Velikanova, 2008). У всіх цих проявах керсутити були представлені залізисто-магнієвими різновидами. Більш залізистий керсутит (фери-керсутит) з $\text{Mg\#}$ 0,43 було зафіксовано тільки одним мікрозондовим аналізом вкрапленика (мегакристу) цього мінералу з камптоніту Хлібодарівського кар'єру (Matviychuk, Donskiy, 2006). До того ж, до керсутитів було віднесено деякі амфіболи, в яких вміст TiO_2 становив 3,20—3,76 %, тобто нижче ніж звичайно у типових керсутитах.

З децю вищим вмістом TiO_2 (3,82 %) і більш залізистий амфібол паргасит-гастингситового складу ($\text{Mg\#}$ 0,55) було виявлено і проаналізовано (силікатний хімічний аналіз) в нефелінових есекситах Антонівського масиву (Побужжя) (таблиця, ан. 7).

Зовсім незвичним є амфібол з Приазов'я (на той час у Маріупольському масиві, який пізніше було перейменовано на Октябрьський), аналіз якого наведено в роботі Л.Ф. Айнберг (Ainberg, 1930). Імовірно, цей керсутитоподібний амфібол слід вважати найбільш залізистим, хоча кристалохімічна формула його розрахована не зовсім задовільно (таблиця, ан. 8). У відомій і доступній нам літературі титанисті амфіболи з таким вмістом TiO_2 (5,94) і високим $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ (31,17 %) нам не вдалося знайти.

Схоже на те, що керсутит, фери-керсутит і фери-керсутит кристалізуються в гіпабісальних інтрузіях і ефузивах лужного та сублужного складу. Для інтрузивних порід абісальної фації характерні амфіболи гастингситового та лужного складу з нижчим вмістом титану, як це зазначено в одній з авторських публікацій (Kryvdik, 2017). Хоча деякі дослідники (Gołuchowska et al., 2016) вважають, що керсутити можуть кристалізуватись на глибині 30—50 км.

Хімічний склад титано-магнієво-залізистих амфіболів із лужних порід ділянки Глумча, фери- і феро-керсутитів і високозалізистих амфіболів з підвищеним і високим вмістом TiO_2 з інших регіонів

Chemical composition of titano-magnesian-ferrous amphiboles from alkaline rocks of the Hlumcha area, ferry- and ferro-kaersutites as well as some amphiboles with high iron and increased or high contents of TiO_2 in other regions

Component	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO_2	39.82	39.67	39.81	39.80	39.16	42.34	39.92	34.41	39.98	38.67	40.45	41.55	42.45	39.7
TiO_2	4.59	5.03	5.07	4.75	4.77	5.10	3.82	5.94	5.68	5.90	3.83	4.12	3.81	4.7
Al_2O_3	14.84	14.92	14.58	14.68	14.61	13.89	12.14	9.16	14.17	13.50	11.21	11.02	11.16	14.6
Cr_2O_3	0.0	0.0	0.05	0.0	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
Fe_2O_3	—	—	—	—	—	—	3.37	5.10	10.02	11.32	2.56	1.66	2.20	12.6
FeO	17.17	17.18	17.70	16.93	18.44	15.34	12.24	26.07	4.01	4.30	15.60	13.43	13.73	8.3
MnO	0.23	0.19	0.22	0.21	0.15	0.18	0.22	0.34	0.13	0.19	0.59	0.39	0.50	0.1
MgO	7.95	8.09	8.07	7.97	8.09	6.55	10.25	2.13	10.45	9.55	8.47	10.65	9.61	6.6
CaO	10.58	11.21	11.29	11.00	10.51	10.09	11.27	8.98	9.62	11.88	11.01	11.23	11.20	9.3
Na_2O	2.68	2.45	2.43	2.62	2.56	2.47	2.86	1.41	3.49	2.55	2.73	2.73	2.83	2.8
K_2O	2.72	2.86	2.94	2.88	2.73	1.71	1.40	1.67	1.52	1.05	1.72	1.75	1.71	2.0
NiO	0	0.02	0.01	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P_2O_5	—	—	—	—	—	—	—	—	0.02	0.17	—	—	0.21	—
H_2O^-	—	—	—	—	—	—	—	0.10	—	0.02	—	—	—	—
$\text{H}_2\text{O}^+ (\text{LOI})$	—	—	—	—	—	—	(1.67)	3.52	0.99	0.50	0.95	0.95	0.76	0.21
F	—	—	—	—	—	—	—	—	0.142	—	0.94	0.94	0.81	0.14
Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	0.027	—	0.05	0.09	0.11	0.10
Total	100.58	101.62	102.17	100.84	101.06	97.67	99.86	99.83	100.16	99.65	99.69	100.08	100.72	101.25
<i>Formula units</i>														
Si	5.94	5.89	5.89	5.95	5.81	6.45	6.08	5.57	5.81	5.68	6.23	6.29	6.40	5.95
Al	2.61	2.60	2.54	2.59	2.55	2.49	2.18	1.77	2.44	2.34	2.04	1.97	1.98	2.57
Ti	0.52	0.56	0.57	0.54	0.53	0.59	0.44	0.72	0.62	0.65	0.44	0.47	0.43	0.53
Fe^{3+}	1.40	1.4	1.40	1.40	1.4	1.0	0.38	0.63	1.10	1.25	0.30	0.19	0.25	1.42
Fe^{2+}	0.74	0.73	0.78	0.71	0.88	0.95	1.56	3.74	0.49	0.53	2.01	1.70	1.73	1.03
Mn	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.02	0.02	0.08	0.05	0.06	0.01
Mg	1.76	1.79	1.78	1.77	1.79	1.49	2.33	0.52	2.26	2.09	1.95	2.40	2.16	1.48
Ca	1.69	1.78	1.78	1.76	1.67	1.65	1.84	1.56	1.50	1.87	1.82	1.82	1.81	1.49
Na	0.79	0.70	0.69	0.76	0.74	0.72	0.79	0.45	0.98	0.73	0.82	0.80	0.73	0.81
K	0.52	0.54	0.55	0.55	0.52	0.33	0.27	0.34	0.28	0.20	0.34	0.34	0.33	0.38
OH	0.38	0.30	0/34	0.20	0.77	0.08	1.66	2.11	0.96	0.49	0.98	0.96	0.76	0.11
F	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07	—	0.46	0.45	0.38	0.06
Cl	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.01	0.02	0.03	0.03
Mg#	0.45	0.41	0.45	0.46	0.44	0.43	0.55	0.11	0.59	0.54	0.46	0.56	0.52	0.38

Примітка. 1—5 — амфібол із серії керсутитів з ділянки Глумча, св. 635/11; 6 — мегакрист керсутиту із камптоніту с. Хлібодарівка (Matviychuk, Donskiy, 2006); 7 — титаністий гастингсит із есекситу Антонівського масиву, Побужжя (авторські дані); 8 — залізистий амфібол (рогова обманка), за (Ainberg, 1930), Приазов'я; 9 — феро-керсутит із нефелінітової брекчії, Австралія (Saton, Yamaguchi, Makino, 2004; Kesson, Price, 1972); 10 — те саме, із амфіболітового включення, Данедін (*Dunedin*), Н. Зеландія (Kesson, Price, 1972); 11—13 — титаністий гастингсит і феро-керсутит (ан. 12) із комплексу Ларвік (*Larvik*), Норвегія (Saton et al., 2004); 14 — феро-керсутит із нефелінового муджіериту, Вікторія, Австралія (Boettcher, O'Neil, 1980). Число формульних одиниць розраховано на 13 катіонів у позиціях C_5T_8 (Si, Ti, Al, Fe, Mg) — ан. 1—8; на 23 O — ан. 9, 10 і на 24 (O, F, Cl) — ан. 11—14.

Note. 1—5 — amphibole of kaersutite series from Hlumcha area, drillhole 635/11; 6 — kaersutite megacrystal from camptonite v. Khlibodarivka (Matviychuk, Donskiy, 2006); 7 — titanian hastingsite of essexite, Antonivka massif, Bug area (authors' datum); 8 — ferrous amphibole (hornblende), after (Ainberg, 1930), Azov region; 9 — ferro-kaersutite from nephelinite breccia, Australia (Saton, Yamaguchi, Makino, 2004; Kesson, Price, 1972); 10 — the same, from amphibolite inclusion, Dunedin, N. Zealand (Kesson, Price, 1972); 11—13 — titanian hastingsites and ferro-kaersutite (an. 12) from Larvik complex, Norway (Saton et al., 2004); 14 — ferro-kaersutite from nepheline mujierite, Victoria (Australia) (Boettcher, O'Neil, 1980). Number of formula units calculated on 13 cations in positions C_5T_8 (Si, Ti, Al, Fe, Mg) — an. 1—8; 23 O — an. 9, 10 and 24 (O, F, Cl) — an. 11—14.

Керсутитоподібний амфібол із лужних порід північно-західної частини УЩ. Цей амфібол було виявлено на ділянці Глумча в одній зі свердловин (св. 635), яка розкрила породи, названі порфіроподібними лужно-ультраосновними, хоча, судячи з хімічних аналізів порід цієї свердловини, їх коректніше слід вважати есекситами через підвищений вміст (%) нормативного анортиту (10—19) та інших мінералів: альбіту (14—24), ортоклазу (14—16), олівіну (26—32), клінопіроксену (10—14) і нефеліну (2—9). На жаль, було виконано хімічні аналізи породи не з досліджуваним керсутитоподібним амфіболом, а лише в інтервалі глибини порід.

Як зазначено у попередній публікації (Кругдик, Tsymbal, Geiko, 2003), породи, з яких досліджено керсутитоподібні амфіболи, в шліфах мезо-меланократові порфіроподібні, з мікротекстурами (розміром до 0,5—1,0 мм) жовтувато-бурого амфіболу, наявного і в основній суттєво польовошпатовій дрібнозернистій масі. Результати мікрозондового аналізу цих амфіболів з архіву С.М. Цимбала наведено в таблиці (ан. 1—5). Вміст амфіболу становить 50 % або й більше об'єму породи. Такі породи спостерігались як малопотужні прожилки, які є, очевидно, апофізами дайок лужно-ультраосновних порід, що широко розповсюджені на цій ділянці. Схоже, що порода за наведеним нормативним складом належить до дайкових габроїдів типу есекситів.

Цікаво зазначити, що ці керсутитоподібні амфіболи, якщо прийняти, що в них залізо перебуває у двовалентній формі, розраховуються на такі нормативні мінерали, як олівін, діопсид, нефелін, кальсиліт, анортит, ільменіт і навіть на незначну кількість ларніту. Як видно з наведеної діаграми ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) — TiO_2 (рисунок і таблиця), досліджувані амфіболи є більш залізистими, порівняно з найпоширенішими керсутитами з лужних і сублужних порід Приазов'я та інших регіонів. Проте в цих залізистих амфіболах із серії керсутитів вміст Fe (ф. о.) тільки незначно переважає над Mg: варіації коефіцієнта $\text{Mg\#}$ в межах 0,41—0,46. Принагідно зауважимо, що згідно з опублікованими даними про керсутити Приазов'я (зокрема Хлібодарівки), наведено аналізи тільки залізисто-магнієвих амфіболів, подібних до типових керсутитів з

інших регіонів. Серед опублікованих аналізів керсутитів (Boettcher, O'Neil, 1980; Colville, Novak, 1991; Saton, Yamaguchi, Makino, 2004; Kesson, Price, 1972) із зарубіжних регіонів нам вдалося знайти лише кілька, в яких $\text{Mg\#}$ становить 0,46—0,59 (таблиця). І тільки один з них має значення $\text{Mg\#}$ 0,46, але вміст TiO_2 в цьому амфіболі дещо нижчий (3,83 %), порівняно з типовими керсутитами (>4,5—6 %). У лужних і сублужних породах часто трапляються і більш та сильно залізисті амфіболи, але в них вміст TiO_2 рідко перевищує 2—3 %, тобто вони належать не до керсутитів, а до паргасит-гастингситів. Винятком можна вважати високозалізистий керсутитоподібний амфібол із Приазов'я з 5,94 % TiO_2 (таблиця, ан. 8), названий Л.Ф. Айнберг роговою обманкою. Виглядає так, ніби в природі не існують (або ще не виявлено) гранично залізистих керсутитів (якщо не зважати на цитований аналіз Л.Ф. Айнберга).

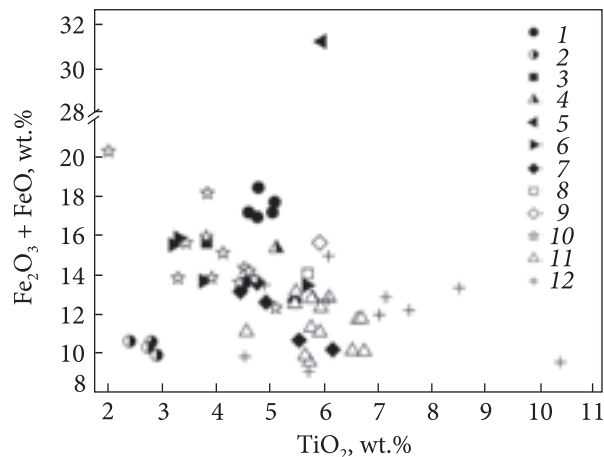
Досліджуваний амфібол близький за хімічним складом (таблиця, ан. 1—5) до вкрапленика керсутиту (фери-керсутиту) в камптонітах Хлібодарівського кар'єру (таблиця, ан. 6). Проте вони більше подібні (або майже ідентичні) до амфіболу, названого фери-керсутитом (хоча насправді це фери-керсутит) з нефелінового муджіериту Австралії (таблиця, ан. 14), якщо зважати на сумарний вміст FeO_{tot} у досліджуваних амфіболах і $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ — в австралійському та майже однаковий вміст всіх інших оксидів. У кристалохімічній формулі австралійського керсутиту число ф. о. Fe^{3+} — 1,42, а ОН — лише 0,11 (разом з F і Cl — 0,20). Тобто цей амфібол належить до фери-керсутиту. Ми зробили такі розрахунки результатів мікрозондових аналізів досліджуваного амфіболу, а саме: прийняли число ф. о. Fe^{3+} як 1,4 і розраховали за балансом зарядів кількість О і ОН в групі додаткових аніонів. Так, наприклад, для амфіболу (таблиця, ан. 4) з ф. о. $\text{Fe}^{3+} = 1,4$ отримано такі значення ф. о. додаткових аніонів — $(\text{OH}_{0,2}\text{O}_{1,8})$, тобто майже стільки ж, як і в порівнюваному австралійському фери-керсутиті. Перерахований вміст (%), дво- і тривалентного оксидів заліза вийшов таким: Fe_2O_3 — 12,4; FeO — 5,76 (FeO_{tot} — 16,93). Ці розрахунки дають підстави вважати, що досліджувані амфіболи можуть бути фери-керсутитами.

Такі розрахунки було виконано й для інших чотирьох мікрозондових аналізів досліджуваного амфіболу і керсутиту із камптонітів Хлібодарівського кар'єру. Для амфіболів № 1, 2, 3 і 5 було отримано такий вміст аніонів OH і O, відповідно, ф. о.: № 1 — 0,38 і 1,64; № 2 — 0,3 і 1,7; № 3 — 0,34 і 1,66; № 5 — 0,77 і 1,23. А для керсутиту з камптонітів Хлібодарівського кар'єру було достатньо перевести тільки один катіон Fe^{2+} в Fe^{3+} , щоб кількість ф. о. O (оксигену) змінилась від 0,96 до 1,92 ($\text{OH}_{0,08}\text{O}_{1,92}$)₂.

Отже, всі мікрозондові аналізи досліджуваних амфіболів розраховуються на формули фери-керсутитів або проміжних різновидів між фери- і феро-керсутитами.

Порівняння досліджуваних титано-магнієво-залізистих амфіболів (фери-керсутитів) з іншими амфіболами лужно-ультраосновних порід північно-західної частини УЩ. Амфіболи лужно-ультраосновних порід північно-західної частини УЩ мають загалом магнієвий склад (частіше $\text{Mg\#}$ 0,7—0,8). Межі варіацій складу цих амфіболів досить широкі: від паргаситів через еденіти і рихтерити до магно-рибекитів і магно-арфведсонітів. Серед паргаситів часто трапляються різновиди, особливо на ділянці Глумча (де виявлено і досліджуваний фери-керсутит), з підвищеним або високим вмістом TiO_2 (до 2,9 %), які за цим показником дещо наближаються до досліджуваного фери-керсутиту. Проте ці титанисті гастингсити виявились значно більш магнієві ($\text{Mg\#}$ 0,71—0,73) за досліджуваний амфібол із серії керсутитів ($\text{Mg\#}$ 0,41—0,46). Високий вміст TiO_2 (до 2,9—3,2 %) буває і в більш лужних і менш глиноземистих рихтеритах Губківської інтрузії, але вони також магнієві ($\text{Mg\#}$ 0,64—0,78). Ще більш магнієві ($\text{Mg\#}$ до 0,80) деякі магно-рибекіти Губківської інтрузії.

У тій же породі зі св. 635, де наявний досліджуваний фери-керсутитит, проаналізовано два зерна низькотитанистих (0,5—1,2 % TiO_2) і більш низьоглиноземистих (5,0—9,2 % Al_2O_3) амфіболів, близьких до еденіту або катюфориту. Вони також виявились більш магнієвими ($\text{Mg\#}$ 0,70—0,73) порівняно з досліджуваним фери-керсутитом. Відношення між цим фери-керсутитом і двома менш глиноземистими (і більш лужними)



Порівняльна діаграма складу амфіболів із серії керсутитів із лужних порід північно-західної частини Українського щита та керсутитів і феро-керсутитів інших регіонів: 1 — фери-керсутит із лужних дайкових порід Глумчанської ділянки; 2 — паргасити з підвищеним вмістом TiO_2 з порід Глумчанської інтрузії; 3 — гастингсит із Антонівського масиву (Побужжя); 4 — фери-керсутит (мегакрист) із камптонітів Хлібодарівського кар'єру (Matviychuk, Donskiy, 2006); 5 — залізистий керсутитоподібний амфібол (рогова обманка), за (Айнберг, 1930); 6 — керсутити Приазов'я (Kravchenko, Donskoy, 1999; Yermenko, 1968; Yuryev, 1967); 7 — керсутити Покрово-Київського масиву (Hatsenko, Kurylo, 2021); 8 — феро-керсутит із нефелінітової брекчії, Австралія (Kesson, Price, 1972); 9 — керсутит із амфіболітового включення, Данедін, Н. Зеландія (Kesson, Price, 1972); 10 — керсутити і титанисті гастингсити із комплексу Ларвік (Saton, Yamaguchi, Makino, 2004); 11 — керсутити із вулканітів Каліфорнії (Colville, Novak, 1991); 12 — керсутити із різних порід (Deer, Howie, Susmann, 1965)

Comparative diagram of the composition of amphiboles from kaersutite series in alkaline rocks from North-Western part of the Ukrainian Shield and kaersutites and ferro-kaersutites from other regions: 1 — ferry-kaersutite from dikes of alkaline rocks, the Hlumcha occurrence; 2 — pargasites enriched in TiO_2 from the Hlumcha intrusion; 3 — hastingsite of the Antonivka massif (Bug area); 4 — ferry-kaersutite (megacryst) of camptonite in Khlibodarivka quarry (Matviychuk, Donskiy, 2006); 5 — ferrous-kaersutite-like amphibole (hornblende) (Ainberg, 1930); 6 — kaersutites of Azov area (Kravchenko, Donskoy, 1999; Yermenko, 1968; Yuryev, 1967); 7 — kaersutites of the Pokrovo-Kyriyvo massif (Hatsenko, Kurylo, 2021); 8 — ferro-kaersutite of nephelinite breccia, Australia (Kesson, Price, 1972); 9 — kaersutite of amphibolite inclusion, Dunedin, N. Zealand (Kesson, Price, 1972); 10 — kaersutites and Ti-enriched hastingsites of the Larvic complex (Saton, Yamaguchi, Makino, 2004); 11 — kaersutites of vulcanites in California (Colville, Novak, 1991); 12 — kaersutites of different rocks (Deer, Howie, Susmann, 1965)

амфіболами не з'ясовано (припускається більш рання кристалізація фери-керсутиту), проте проявляється аналогічна тенденція, подібна до такої в амфіболах лужно-ультраосновних порід північно-західного району УЩ, а саме: більш глиноземисті амфіболи (паргасити) характеризуються дещо вищою залізистістю, порівняно з лужними, і менш глиноземистими амфіболами (типу рихтериту). Імовірно, пізніші (пізньомагматичні або накладені пізні автометасоматичні амфіболи) не набували вищої залізистості, хоча до їхнього складу входило тривалентне залізо (Fe^{3+}). У магматичних породах амфіболи рибекіт-арфведсонітової серії часто є високозалізистими.

Ще одна цікава особливість хімізму досліджуваного фери-керсутиту: в них досить високий вміст K_2O (в масових кількостях дещо більше, ніж Na_2O — таблиця). Водночас у всіх інших амфіболах (навіть паргаситах із підвищеним вмістом TiO_2) Na_2O значно переважає над K_2O . Входження K_2O до складу амфіболів залежить головним чином від типу розплавів (флюїдів), з яких кристалізуються ці мінерали. Проте існують деякі міркування, що за всіх однакових інших фізико-хімічних умов, більш високотемпературні амфіболи містять більше калію. Можливо, і в даному випадку спрацьовує цей фактор, а саме фери-керсутити кристалізуються за більш високотемпературних умов.

Висновки. 1. Досліджуваний титанистий амфібол виявився керсутитом (фери-керсутитом) з високим вмістом FeO ($\text{Mg\#}$ 0,41—0,46), тобто з майже однаковою кількістю катіонів Mg і Fe в розрахункових кристалічних формулах (хоча з незначною перевагою Fe над Mg). Такі керсутити (фери-керсутити) трапляються в природі досить рідко (в доступній літературі нам вдалося знайти лише кілька аналізів подібних керсутитів. Переважна більшість природних керсутитів мають Fe-Mg склад. Схоже, що в природі відсутні або трапляються у край рідко як чисто залізисті, так і чисто магнієві керсутити. Принаймні ми таких аналізів у літературі не знайшли. Можливо, що до майже крайньо залізистого керсутиту належить так звана рогова обманка із Приазов'я, хімічний аналіз якої опублікувала Л.Ф. Айнберг 1930 р.

2. Досліджуваний фери-керсутит виявлено у не зовсім звичній для північно-західного району УЩ (Глумчанська ділянка, св. 635), меланократовій породі, в якій цей амфібол виділяється як мікротрапезики та утворює дрібні зерна у суттєво польовошпатовій дрібнозернистій основній масі. Породи, розкриті св. 635, залягають поруч із керсутитовмісною породою і дещо відрізняються від найпоширеніших у районі лужно-ультраосновних порід мельтейгіт-якупірангітової серії. Ці породи за нормативним складом (підвищений вміст анортиту, альбіту і ортоклазу) близькі до нефелінових есекситів. Можливо, що в малопотужних апофізах дайок і тонких прожилках, де в шліфах знайдено досліджуваний фери-керсутит, могли кристалізуватись меланократові керсутитовмісні породи есекситового складу, дещо відмінні від найпоширеніших в районі мельтейгіт-якупірангітів. В останніх наявні амфіболи, відмінні від досліджуваного фери-керсутиту, хоча серед них трапляються паргасити і рихтерити з доволі високим вмістом TiO_2 (до 2,9—3,2 %). Можливо, що за умов швидкої кристалізації в прожилках і малопотужних апофізах могли сформуватись із лужно-ультраосновного розплаву керсутитовмісні порфіроподібні породи. Також цей розплав міг зазнати часткової контамінації у приконтативній зоні з гранітоїдами рами і набути есекситового складу.

3. Виконані розрахунки результатів мікророзондових аналізів з переведенням частини FeO в Fe_2O_3 показують, що досліджувані амфіболи можуть мати склад фери-керсутиту.

4. Такі рідкісні амфіболи заслуговують детальніших досліджень ще й із застосуванням інших сучасних методів, окрім виконаних мікророзондових визначень. Якщо вдасться знайти залишки кернавого матеріалу, то автори спробують виділити концентрати цих фери-керсутитів, виготовити додаткові шліфи і передати їх до лабораторії фізичних методів дослідження мінеральної речовини в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

Можливо, ця публікація зацікавить науковців і сприятиме подальшим дослідженням цих виняткових і рідкісних амфіболів.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

- Ainberg, L.F. (1930), *Hornblendes of Mariupol alkaline massif*, *Izvestia Glavnogo geol.-razv. Upravleniya*, XLIX, No. 5, pp. 586-617 [in Russian].
 [Айнберг, Л.Ф. (1930), *Роговые обманки из Мариупольского щелочного массива*. Изв. Глав. геол.-развед. управления. XLIX, № 5. С. 586—617].
- Boettcher, A.L. and O'Neil, J.R. (1980), *Amer. J. Sci.*, Vol. 280A, pp. 594-621.
- Colville, A.A. and Novak, G.A. (1991), *Lihtos*, Vol. 27, pp. 107-114. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(91\)90023-E](https://doi.org/10.1016/0024-4937(91)90023-E)
- Deer, U.A., Howie, R.A. and Susmann, J. (1965), *Rock-forming minerals*, Mir, Vol. 2, Moscow, 408 p. [in Russian].
 [Дир, У.А., Хауи, Р.А., Зусман, Дж. (1965), *Породообразующие минералы*. Т. 2. Москва: Мир, 1965. 408 с.]
- Gołuchowska, K., Barker, A.K., Czerny, J., Majka, J., Manecki, M., Farajewicz, M. and Dwornik, M. (2016), *Mineral. Petrol.*, Vol. 110, Iss. 5, pp. 623-638. <https://doi.org/10.1007/s00710-016-0431-9>
- Hatsenko, V.O. and Kurylo, S.I. (2021), *Geochemistry and ore formation*, Iss. 42, Kyiv, pp. 48-60 [in Ukrainian].
<https://doi.org/10.15407/gof.2021.42.048>
- [Гащенко, В.О., Курило, С.І. (2021), *Геохімія та рудоутворення*. Вип. 42. С. 48—60.]
- Kesson, S. and Price, R.C. (1972), *Contr. Mineral. and Petrol.*, Vol. 35, pp. 119-124. <https://doi.org/10.1007/BF00370923>
- Kravchenko, G.L. and Donskoy, A.N. (1999), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 21, No. 5-6, Kyiv, pp. 78-85 [in Russian].
 [Кравченко, Г.Л., Донской, А.Н. (1999), *Мінерал. журн.* **21**, № 5/6. С. 78—85.]
- Kryvdik, S.G., Tsybal, S.N. and Geiko, Yu.V. (2003), *Mineral Journ. (Ukraine)*, Vol. 25, No. 5-6, pp. 57-69 [in Russian].
 [Кривдик, С.Г., Цымбал, С.Н., Гейко, Ю.В. (2003), *Мінерал. журн.* **25**, № 5/6. С. 57—69.]
- Kryvdik, S.G. (2017), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 39, No. 1, Kyiv, pp. 84-99 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.01.084>
- [Кривдік, С.Г. (2017), *Мінерал. журн.* **39**, № 1. С. 84—99.]
- Litvin, A.L. (1977), *Krystallochemistry and structure typomorphism of amphiboles*, Nauk. dumka, Kyiv, 236 p. [in Russian].
 [Литвин, А.Л. (1977), *Кристаллохимия и структурный типоморфизм амфиболов*. Киев: Наук. думка. 236 с.]
- Matviychuk, M.V. and Donskiy, M.O. (2006), *Geochemistry and ore formation*, Iss. 24, Kyiv, pp. 56-59 [in Ukrainian].
 [Матвійчук, М.В., Донський, М.О. (2006), *Геохімія та рудоутворення*. Вип. 24. С. 56—59.]
- Saton, H., Yamaguchi, Y. and Makino, K. (2004), *Mineral. Mag.*, Vol. 68 (4), pp. 687-697. <https://doi.org/10.1180/0026461046840215>
- Velikanova, O.Yu. (2008), *Petrologia mafit-ultramafite Devladov regional zona razlomov*, Abstract of PhD diss. geol. sci., Kyiv, 22 p. [in Ukrainian].
 [Великанова, О.Ю. (2008), *Петрологія мафіт-ультрамафітів Девладівської регіональної зони розломів*: автореф. ... канд. геол. наук. Київ. 22 с.]
- Yeremenko, H.K. (1968), *Dokl. AN URSS. Ser. B*, No. 7, Kyiv, pp. 590-593 [in Russian].
 [Еременко, Г.К. (1968), *Докл. АН УССР. Сер. Б*. № 7. С. 590—593].
- Yuryev, L.D. (1967), *Dopov. AN URSS. Ser. B*, No. 10, Kyiv, pp. 912-916 [in Ukrainian].
 [Юр'єв, Л.Д. (1967), *Допов. АН УРСР. Сер. Б*. № 10. С. 912—916.]

Received 03.05.2023

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

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

O.Yu. Tsybal, PhD student

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

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine

34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

AMPHIBOLE OF KAERSUTITE SERIES FROM ALKALINE ROCKS
IN NORTH-WESTERN PART OF THE UKRAINIAN SHIELD

Ferry-kaersutite as a rare mineral have been found in North-Western part of the Ukrainian Shield where alkaline-ultrabasic rocks of jacupirangite-melteigite series are widespread. Ferry-kaersutite occurs in essexite that form thin veins and apophyses from dikes of porphyry-like alkaline-ultrabasic rocks. By results of microprobe analyses ferry-kaersutites are of such composition (%): 39—40 SiO₂; 4.6—5.07 TiO₂; 14.6—14.9 Al₂O₃; 16.9—18.4 FeO_{tot}; 7.95—8.09 MgO; 10.5—11.0 CaO; 2.4—2.9 Na₂O; 2.7—2.9 K₂O. In alkaline-ultrabasic rocks of this region different more magnesian amphiboles (pargasites, richterites, magnesio-riebeckite, katophorite and other intermediate varieties) are present. Some of these amphiboles are enriched in TiO₂ (to 2.9—3.2%). It is assumed that studied ferry-kaersutite has formed at quick crystallization and partly contamination of alkaline-ultrabasic melts in veins and apophyses among country granitoids.

Keywords: ferry-kaersutite, alkaline-ultrabasic rocks, essexites.