

УДК 549.634(477.63)

**Степан Кривдік<sup>1</sup>, Віктор Шаригін<sup>2, 3</sup>, Олександр Дубина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАНУ,  
просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна, 01142,  
kryvdik@ukr.net

<sup>2</sup>ФДБУН Інститут геології і мінералогії імені В.С. Соболева СВ РАН,  
Новосибірськ, РФ

<sup>3</sup>ФДБОУ ВПО Новосибірський державний університет,  
sharygin@igm.nsc.ru

## **Na-АСТРОФІЛІТ МАЛОТЕРСЯНСЬКОГО МАСИВУ (СЕРЕДНЄ ПРИДНІПРОВ'Я)**

Наведено результати дослідження астрофіліту з жильної суттєво альбітової породи Малотерсянського масиву (Середнє Придніпров'я), яка містить лужні амфіболи (рибекіт) і піроксени. З'ясовано, що астрофіліт має неоднорідну структуру, зумовлену тонким перемишуванням Na-K- та Na-різновидів. У кристалохімічних формулах Na-різновидів вміст Na досягає 2,5 формульних одиниць. Вірогідно, такий Na-різновид астрофіліту виявлено вперше.

*Ключові слова:* Na-K-астрофіліт, лужні породи, Малотерсянський масив, Український щит.

Мінерали серії астрофіліт–куплетськіт, які мають узагальнену формулу  $(K,Na)_3(Fe,Mn)_7Ti_2Si_8O_{26}(OH)_4F$ , – це характерні мінерали пересичених лугами (агпаїтових) магматичних порід та пов'язаних з ними пегматитів і метасоматитів. Ці мінерали можуть бути у фельдшпатоїдних та кварцовмісних породах (лужні граніти, кварц-польовошпатові метасоматити). Фельдшпатоїдним породам притаманні як чисто манганові (куплетськіт), інколи з високим вмістом ZnO (до 10 %) [5, 6], так і Mn-Fe-члени серії, тоді як лужним гранітоїдам – залізисті (власне астрофіліт).

Значно вужчий діапазон ізоморфних замішень між калієм і натрієм. Уважають [7], що калій ізоморфно заміщується натрієм до співвідношення 2:1, а частіше – 3:2. Калій може цілком заміщуватися цезієм, натрій – частково кальцієм, титан – цирконієм і ніобієм, залізо і манган – магнієм, цинком та ін.

На рис. 1 показано найпоширеніші в природі мінерали серії астрофіліт–куплетськіт у різних типах порід.

Майже всі мінерали серії астрофіліт–куплетськіт, аналізи яких опубліковано в літературі та доступні на інтернет-ресурсах, утворюють практично безперервну серію від чисто манганового куплетськіту до залізистого астрофіліту, а стосовно катіонів Na і K вони розташовані в нижній (калієвій) частині діаграми (див. рис. 1) з умістом Na від 0,5 до 1,5 формульної одиниці (ф. о.) (суму калію і натрію прирівняно до 3).

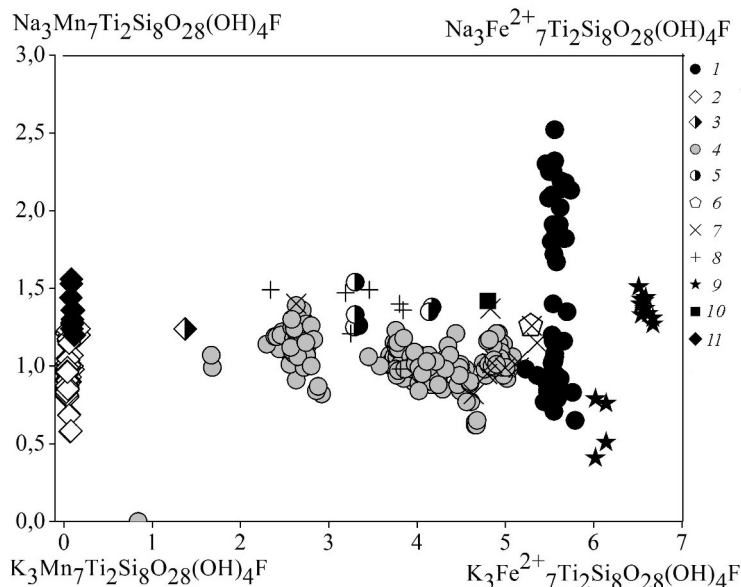


Рис. 1. Розподіл мінералів групи астрофіліт–куплетськіт за співвідношеннями Na–K та Fe–Mn:

1 – Малотерсянський масив; 2, 3 – Октябрьський масив, за [2] і [5], відповідно; 4 – Дмитрівка; 5 – Дмитрівка, за [1]; 6 – Ловозеро; 7, 8 – Хібіни, за [4]; 9 – Катугіно; 10 – Illimaussaq; 11 – Mont Saint-Hilaire (Канада) [6].

Фігуративні точки тільки незначної частини нових аналізів залізного астрофіліту з Малотерсянського масиву утворюють “вертикальний” ряд, у якому наявні як Na–K-, так і суттєво Na-різновиди залізного астрофіліту (нижня і верхня частина діаграми, відповідно). Навіть помітно невиразний розрив між Na–K- і Na-астрофілітом. У цих мінералах вміст Na у кристалохімічній формулі досягає 2,5 ф. о. (за Na + K = 3) (див. таблицю). Подібні суттєво натрієві різновиди астрофіліту нам не вдалося відшукати ні в літературі, ні на інтернет-сайтах.

#### Мікронзондові аналізи астрофіліту Малотерсянського масиву

Компоненти	Na-астрофіліт					
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	37,16	37,46	37,59	37,27	37,46	36,86
TiO <sub>2</sub>	11,21	11,89	11,74	11,81	11,69	11,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,51	0,91	0,59	0,89	1,08	0,94
FeO <sub>зар</sub>	31,24	31,20	31,91	31,04	30,80	30,75
MgO	0,61	0,68	0,46	0,56	0,51	0,63
MnO	5,88	5,90	5,64	5,85	5,82	5,72
CaO	1,27	0,97	1,15	1,09	1,26	1,54
Na <sub>2</sub> O	4,17	5,59	5,11	5,45	5,59	4,39
K <sub>2</sub> O	2,75	1,37	1,53	1,05	1,54	1,82
F	0,74		0,71			
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				0,72		
Сума	96,53	95,97	96,43	96,03	95,76	94,05

Закінчення таблиці

Компо- ненти	Na-астрофіліт					
	1	2	3	4	5	6
Формульні коефіцієнти						
Si	7,90	7,95	8,08	7,95	7,94	8,05
Al	0,10	0,05		0,05	0,06	
Ti	1,79	1,90	1,90	1,90	1,86	1,87
Nb				0,07		
Al <sub>окт</sub>	0,27	0,17	0,23	0,18	0,21	0,24
Fe	5,55	5,54	5,74	5,54	5,46	5,61
Mn	1,06	1,06	1,03	1,06	1,04	1,06
Mg	0,19	0,21	0,15	0,18	0,16	0,20
Ca	0,29	0,22	0,26	0,25	0,29	0,36
Na	1,72	2,30	2,13	2,25	2,30	1,86
K	0,75	0,37	0,42	0,29	0,42	0,51

Компо- ненти	Na-астрофіліт		Na-K-астрофіліт			
	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	36,22	35,88	35,36	35,79	35,77	35,32
TiO <sub>2</sub>	11,36	11,19	11,03	11,68	10,26	10,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,85	0,87	2,61	2,29	3,19	2,51
FeO <sub>зар</sub>	30,91	30,12	31,30	31,13	31,69	31,09
MgO	0,56	0,55	0,68	0,45	1,08	0,70
MnO	5,57	5,76	5,75	5,40	4,98	5,23
CaO	1,25	0,87	1,96	1,97	1,96	2,04
Na <sub>2</sub> O	5,11	5,89	2,22	2,24	1,93	1,97
K <sub>2</sub> O	1,26	0,82	5,88	5,79	6,08	5,69
F		0,87	0,84	1,00	0,90	0,74
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			0,51		0,49	0,43
Сума	93,09	92,81	98,77	98,22	98,33	96,60
Формульні коефіцієнти						
Si	7,96	7,92	7,59	7,51	7,35	7,47
Al	0,04	0,08	0,41	0,49	0,65	0,53
Ti	1,88	1,86	1,78	1,84	1,58	1,73
Nb			0,05		0,05	0,04
Al <sub>окт</sub>	0,18	0,15	0,25	0,08	0,12	0,10
Fe	5,68	5,56	5,62	5,46	5,44	5,50
Mn	1,04	1,08	1,05	0,96	0,87	0,94
Mg	0,18	0,18	0,22	0,14	0,33	0,22
Ca	0,29	0,21	0,45	0,44	0,43	0,46
Na	2,18	2,52	0,92	0,91	0,77	0,81
K	0,35	0,23	1,61	1,55	1,59	1,54

Примітка. У значенні суми враховано: 4 – 0,31 % Cs<sub>2</sub>O; 9 – SnO<sub>2</sub>; 10 – 0,49 % ZrO<sub>2</sub>. Аналізи 1–5, 9–11 виконано в зерні, зображеному на рис. 4, аналізи 6, 7 – у зерні на рис. 2, 8 – в іншому зерні.

Найбільш залізистий астрофіліт із Катугінського масиву лужних гранітів (Алданський щит, Росія) належить до Na-K-різновидів з максимальним вмістом натрію (близько 1,5 ф. о.), на діаграмі його точки розташовані поруч з Na-K-астрофілітом Малотерсянського масиву.

Порода Малотерсянського масиву, у якій виявлено неоднорідний астрофіліт (рис. 2–4), має середньо-крупнозернисту структуру, складена головно альбітом (75–90 %) і фермічними мінералами (10–25 %), серед яких астрофіліт, егірин, егірин-геденбергіт, рибекіт, аніт, містить також Mn-ільменіт, магнетит, титаніт, кальцит (до 2,1 % SrO), серед акцесорних мінералів – фторапатит (до 10 %  $TR_2O_3$ , 1,42 %  $Na_2O$  і 2,5 % SrO), фторбризоліт-(Ce), аланіт, монацит, циркон, дзиньшадзяніт (див. рис. 3, 4), трапляються поодинокі зерна енігматиту.

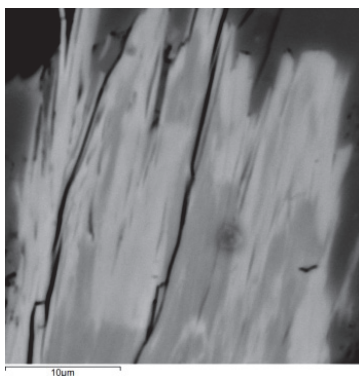


Рис. 2. Тонке перемежування Na- і Na-K-астрофіліту (темні і світлі пластинки, відповідно). BSE-зображення.

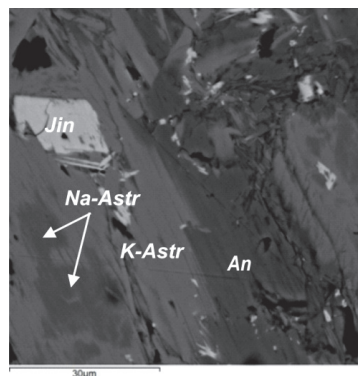


Рис. 3. Включення дзиньшадзяніту (Jin) в неоднорідному астрофіліті (Na і Na-K-фази – Na-Astr і K-Astr, відповідно). BSE-зображення.

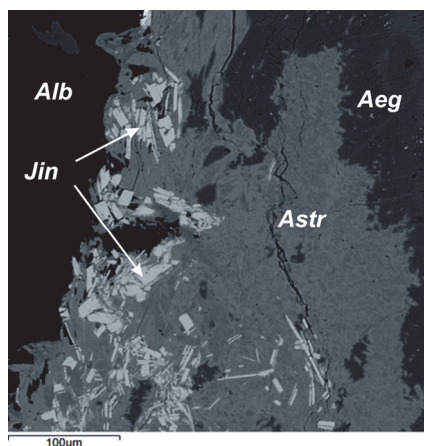


Рис. 4. Фрагмент великого неоднорідного (тонке перемежування Na- і Na-K-астрофіліту) зерна астрофіліту (Astr) на контакті егірину (Aeg) й альбіту (Alb) з ізометричними і пластинчастими включеннями дзиньшадзяніту (Jin). BSE-зображення.

Хімічний аналіз породи такий, %:  $SiO_2$  – 55,92;  $TiO_2$  – 0,70;  $Al_2O_3$  – 10,03;  $Fe_2O_3$  – 8,89; FeO – 7,68; MnO – 0,48; MgO – 1,36; CaO – 4,94;  $Na_2O$  – 8,25;  $K_2O$  – 0,28; S – 0,07;  $P_2O_5$  – 0,08;  $CO_2$  – 0,52;  $H_2O^-$  – 0,01; в. п. п. – 0,97; сума – 100,18;  $(Na+K)/Al = 1,39$ . Породу попередньо назвали крупнозернистим меланократовим егірин-геденбергіт-альбітовим з астрофілітом жильним сієнітом, який залягає серед габро; потужність жили (за

керном свердловин) становить близько 1 м [3]. Можливо, це альбітизоване габро (зовні породи подібні). Принаймні, деякі мінерали в породі утворюють нерівноважні парагенезиси: з одного боку, – аланіт (глиноземистий мінерал), з іншого, – рибекіт та егірін (пересичені лугами), відповідно, астрофіліт і аніт (хоча в літературі зазначено про парагенезис астрофіліту й аніту). Загалом асоціація мінералів у цій породі подібна до виявленої в агпайтових сієнітах та метасоматитах Приазов'я.

Пластинки астрофіліту майже оптично гомогенні в шліфах, проте виявляють неоднорідність на BSE-зображеннях за умов великого збільшення. У деяких із них чітко помітно перемежування (чергування) калієвого (Na-K) і натрієвого астрофіліту, які відрізняються між собою: темніші – натрієві, ясніші – Na-K (див. рис. 2). Видається, що об'єм K-Na- і Na-фаз однаковий або ж K-Na-різновид дещо переважає. Цікаво, що в досліджуваному астрофіліті виявлено і дрібні включення Na-K-дзиньшадзяніту (друга, після Приазов'я, знахідка мінералу в Україні, див. рис. 3, 4).

Нині важко однозначно інтерпретувати виявлені тонкі проростання (перемежування) Na- і Na-K-астрофіліту. Можливо, це структури розпаду твердих розчинів. Цікаво, що Na-K-фази астрофіліту розташовані в полі природного астрофіліту, тоді як чисто калієві й чисто натрієві фази не утворили окремих зерен (їх, вочевидь, нема і серед природних астрофілітів). Проте чітко вирізняються суттєво натрієві (до 2,5 ф.о. Na і до 0,5 – K) різновиди мінералу, аналоги яких ми не виявили в літературних джерелах. Можливо, що первинний (до розпаду ймовірних твердих розчинів) досліджуваний астрофіліт Малотерсянського масиву мав Na-K склад, характерний для типового астрофіліту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Астрофиллит – первая находка на Украине / А. Л. Литвин, Л. Н. Егорова, А. А. Кульчечкая и др. // Минерал. журн. – 1987. – Т. 9, № 6. – С. 77–82.
2. Вальтер А. А. Куплетскит из щелочных пород Приазовья / А. А. Вальтер, Г. К. Еременко, Е. А. Лысенко // Минерал. сб. – 1965. – Вып. 19, № 2. – С. 248–252.
3. Кривдик С. Г. Петрология щелочных пород Украинского щита / С. Г. Кривдик, В. И. Ткачук. – Киев : Наук. думка, 1990. – 408 с.
4. Минералогия Хибинского массива (минералы). Т. 2 / Е. Е. Костылева-Лабунцева, М. Н. Боруцкий, М. Н. Соколова и др. – М. : Наука, 1976. – 586 с.
5. Zn-куплетскит и хендриксит в агпайтовых фонолитах Октябрьского массива, Приазовье, Украина / В. В. Шарьгин, С. Г. Кривдик, Л. Н. Поспелова, А. В. Дубина // Докл. РАН. – 2009. – Т. 425, № 6. – С. 810–815.
6. Crystal-structure refinement of a Zn-rich kupletskite from Mont Saint-Hilaire, Quebec, with contributions to the geochemistry of zinc in peralkaline environments / P. C. Pilonen, I. V. Pekov, M. Back et al. // Mineral. Mag. – 2006. – Vol. 70, N 5. – P. 547–561.
7. <https://natural-museum.ru/mineral/астрофіліт>

Стаття: надійшла до редакції 23.07.2018  
прийнята до друку 06.08.2018

**Stepan Kryvdik<sup>1</sup>, Viktor Sharygin<sup>2, 3</sup>, Oleksandr Dubyna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
of NAS of Ukraine,*

*34, Acad. Palladin Av., Kyiv, Ukraine, 03680,*

*kryvdik@ukr.net*

<sup>2</sup>*V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of RAS, Novosibirsk, Russia*

<sup>3</sup>*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia,*

*sharygin@igm.nsc.ru*

**ASTROPHYLLITE FROM MALOTERSIANSKYI MASSIF  
(MIDDLE DNEPER REGION)**

The astrophyllite from vein-like substantially albite rock from Malotersianskyi massif (Middle Dnieper region), which contain alkaline amphiboles (riebeckite) and pyroxenes, has been investigated. Astrophyllite has an inhomogeneous structure due to a thin interbedding of Na-K- and Na-varieties of this mineral. In crystallochemical formulas of Na-varieties, the Na content reaches 2.5 atoms per formula unit. Probably such Na-rich varieties of astrophyllite were discovered for the first time.

*Key words:* Na-K-astrophyllite, alkaline rocks, Malotersianskyi massif, Ukrainian shield.