

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2025.06.085>

УДК 549.619:546.65 (292.451./454)

В.М. Бельський, <https://orcid.org/0000-0001-7990-1386>

Г.О. Кульчицька, <https://orcid.org/0000-0002-7206-4797>

К.І. Гоголев, <https://orcid.org/0000-0002-7727-9965>

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна
E-mail: belskyi_vm@ukr.net

Перша знахідка аланіту-(Ce) в Українських Карпатах

Представлена членом-кореспондентом НАН України В.П. Семененко

Рідкісноземельний силікат із надгрупи епідоту виявлено в метаморфізованому ксеноліті теригенно-карбонатної породи серед спілітизованих мезозойських (J_3 - K_1) ефузивів чивчинської світи в Мармароському масиві Карпат. Вміст Ce і рідкісноземельних елементів (REE) в ефузивах у декілька разів перевищує кларковий. U, Th та Y не виявлено. За результатами мікрозондових аналізів знахідку рідкісноземельного силікату ідентифіковано як аланіт-(Ce). Це перша знахідка аланіту в Українських Карпатах і друга знахідка рідкісноземельного мінералу (після монациту) в цьому регіоні. Індивіди мінералу розміром 10–20 мкм разом з халцедоном, титанистим магнетитом, хлоритом і кальцитом утворюють ниркоподібні агрегати розміром до 100 мкм. Аланіт коричнево-бурого кольору, слабо анізотропний. Кристалохімічна формула: $Ca_{1,48}REE_{0,46}Al_{2,26}Fe_{0,74}Si_{3,07}O_{12}(OH)$, свідчить про значне заміщення кальцієм позицій REE. Мінерал утворився внаслідок взаємодії збагаченої на REE базальтової лави з вапняковими породами.

Ключові слова: рідкісноземельний мінерал, ниркоподібні агрегати, чивчинська світа, Мармароський масив.

Вступ. Аланіти — рідкісноземельні силікати надгрупи епідоту із загальною формулою $Ca(REE,Y)(Al_2Fe^{2+})(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$. Попри те, що у серії аланітів зареєстровано п'ять мінеральних видів (з домінуванням Ce, La, Nd, Sm або Y), найпоширенішим і в світі, і в Україні є аланіт-(Ce).

Мета роботи — дослідити й ідентифікувати знахідку рідкісноземельного мінералу, виявленого на території Карпатського регіону.

Метод аналізу. Мінерал діагностовано за результатами мікрозондових аналізів. Використано рентгенівський мікроаналізатор JСХА733 з EDS приставкою та електронний мікроскоп JSM6700F з енергодисперсійним спектрометром JED2300. Отримано РЕМ-зображення і визначено хімічний склад породоутворювальних та акцесорних мінералів, аланіту зокрема. Умови

Ц и т у в а н н я: Бельський В.М., Кульчицька Г.О., Гоголев К.І. Перша знахідка аланіту-(Ce) в Українських Карпатах. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2025. № 6. С. 85—91. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2025.06.085>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

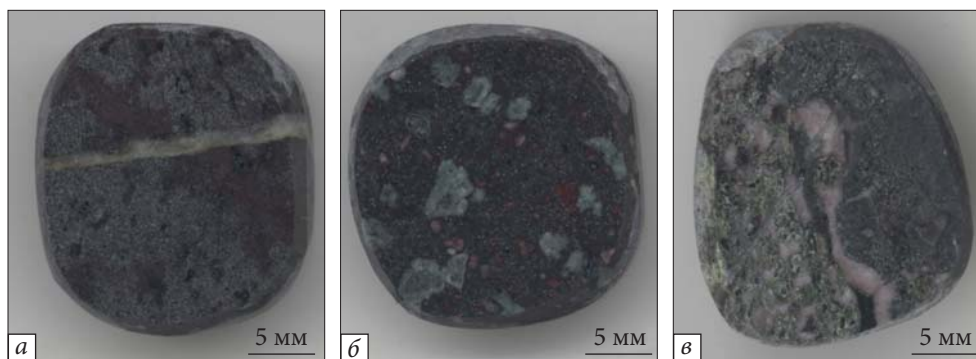


Рис. 1. Ефузиви чивчинської світи: *а* — зразок 1 масивної текстури із прожилками кварцу, кальциту та оксидів заліза; *б* — зразок 2 з мигдалинами карбонатного та силікатного складу; *в* — зразок 3 зі ксенолітом теригенно-карбонатної породи

зйомки на приладі JСХА733: прискорювальна напруга 20 кВ, сила струму 20 нА, діаметр зонда 10 мкм; на приладі JSM6700F: прискорювальна напруга 20 кВ, сила струму 0,6 нА, діаметр зонда 1—2 мкм. Як еталони використано мінерали: діопсид, авгіт, біотит, монацит тощо.

Хімічний склад породи досліджено методом рентенофлюоресцентного аналізу (WDXRE) на приладі ARL OptimX. Висушений за температури близько 105 °С зразок подрібнили до пудри з розміром частинок 45 мкм, змішали з порошком-утримувачем *Retsch Licowax C* у співвідношенні 4 : 1 і спресували під тиском 5 МПа в таблетки. Для калібрування приладу використано сертифіковані стандарти гірських порід: SW, DNC-1а, BHVO-2, JA-3, DC73301, SG-3 GSP-2. Лабораторні дослідження виконано в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України.

Поширення мінералу. Аланіт (синонім — ортит) в Україні вважають поширеним акцесорним мінералом [1]. Це — характерний мінерал багатьох пегматитів, гранітів і сієнітів

Таблиця 1. Хімічний склад порід (результати WDXRE аналізу)

Компоненти, %	Зразки			Компоненти, <i>ppm</i>	Зразки		
	1	2	3		1	2	3
SiO ₂	48,42	44,90	26,16	Ba	45	271	Н.в.
Al ₂ O ₃	11,25	12,30	6,54	Ce	302	68	Н.в.
TiO ₂	3,05	2,34	0,89	Co	114	91	16
MnO	0,14	0,17	0,08	Cr	92	55	74
Fe ₂ O ₃	20,74	13,18	4,71	Hf	2	3	Н.в.
Na ₂ O	4,14	2,69	0,08	La	175	34	Н.в.
MgO	2,53	4,36	2,61	Nb	Н.в.	Н.в.	Н.в.
K ₂ O	0,18	0,86	1,22	Rb	Н.в.	20	2
CaO	4,88	10,65	33,43	Sr	139	411	148
P ₂ O ₅	0,54	0,42	0,23	Th	Н.в.	Н.в.	Н.в.
ВВП	3,56	8,55	25,07	Y	13	19	7
Сума	99,2	100,2	101,0	Zr	132	155	77

Примітка. Номери зразків відповідають рис. 1. ВВП — втрати від прожарювання; Н.в. — не виявлено.

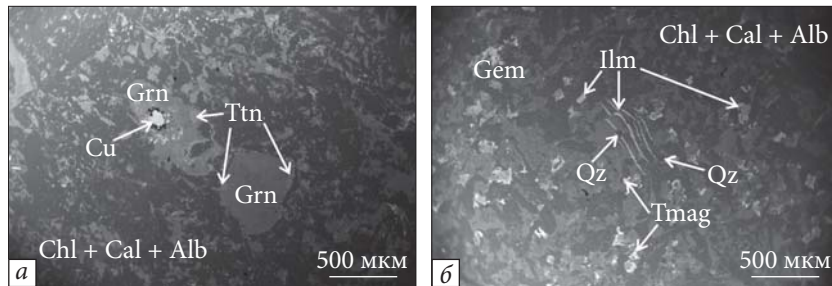


Рис. 2. Типовий мінеральний склад зразків ефузивів чивчинської світи: *a* — зразок 1; *б* — зразок 2; Qz — кварц; Gem — гематит; Alb — альбіт; Ilm — ільменіт; Cal — кальцит; Ttn — титаніт; Tmag — Ti-магнетит; Grn — гранат; Cu — мінерал міді

Українського щита, особливо сублужної спеціалізації. Найпоширеніший у Приазовському мегаблоці щита, де навіть відоме невелике родовище з майже мономінеральними рудами [2]. Аланітоподібний мінерал знаходили в магматичних породах Криму.

Мікроскопічні кристали аланіту-(Ce) виявлено в магматичних і метаморфічних породах Карпатського регіону — на території Польщі, Угорщини і Словаччини, проте як поширений акцесорний мінерал він відомий лише на території Румунії, у Східних і Південних Карпатах [3]. В Українських Карпатах знахідки аланіту не відмічено. Згадано лише про аланіт у зоні зчленування Передкарпатського прогину зі Східно-Європейською платформою. Назагал Карпатський регіон дуже бідний на мінерали рідкісноземельних елементів (REE). Знахідки мінералів з лантанідами рідкісні, розміри індивідів мікроскопічні. На території Українських Карпат досі було відомо лише про один мінеральний вид — монацит-(Ce) [4]. Тому знахідка другого рідкісноземельного мінералу спричинила закономірний інтерес.

Хімічний і мінеральний склад порід. Мінерал виявлено у Мармароській зоні Карпат у ксеноліті теригенно-карбонатної породи серед спілітизованих ефузивів поблизу їхнього контакту з вапняками. Зразки відібрано із відслонення в районі струмка Кам'яний Потік (права притока р. Тиса), що протікає на південно-західній околиці м. Рахів. Темно-зелені або буровато-червоні спілітизовані ефузиви, що належать до чивчинської світи [5], складені цілковито хлоритизованим склом з прожилками карбонатного і силікатного складу, лейстами альбіту, мигдалинами кальциту та халцедону, вкрапленнями рудних мінералів (рис. 1). Сірі вапняки чивчинської світи мають смугасту, строматолітову та стилітову текстури і складаються на 85—95 % із кальциту, містять уламки кварцу, луски хлориту, глинисту та вуглецеву речовину, органогенні рештки. За знахідками скам'янілостей дані породи відносили від оксфорду до валанжину (J_3 – K_1) [6].

За хімічним складом зразки ефузиву відповідають базальтам (діабазам) і дещо відрізняються між собою за вмістом головних породоутворювальних компонентів, зокрема лугів, CaO, Fe₂O₃, MgO (табл. 1), імовірно як наслідок різного ступеня контамінації вмісних карбонатних порід багатим на залізо магматичним розплавом. Привертає увагу нерівномірно підвищений вміст інших елементів, зокрема Ba, Sr, Ce і La (інші REE не визначали).

За даними мікрозондового аналізу (ЕДС) зразків з чивчинської світи визначено їхній мінеральний склад (табл. 2, рис. 2). Вперше в них ідентифіковано гранат (гросуляр), барит, ільменіт, апатит, галіт та аланіт.

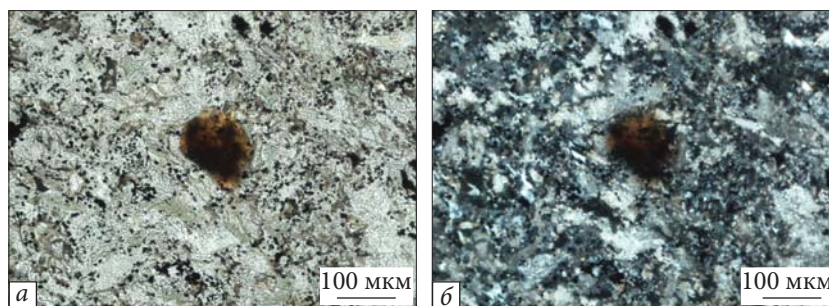


Рис. 3. Аланіт в карбонатно-силікатній матриці: а — без аналізатора; б — з аналізатором

Зразки 1 і 2 характеризуються типовою для сплітів хлорит-альбітовою матрицею і відрізняються від зразка 3 мінеральним складом. Вони містять порфірові виділення гранату з мінералом Cu (хризосола?) всередині і облямівкою титаніту і хлориту довкола (див. рис. 2, а), ниткоподібні і таблитчасті фази ільменіту, що чергуються зі смугами кварцу (див. рис. 2, б).

Хімічний склад аланіту. Мінерал виявлено у зразку 3. Він утворює ниркоподібні агрегати, що виділяються розмірами на тлі дрібнозернистої кальцит-хлоритової маси (рис. 3) разом зі ще більшими скупченнями халцедону (рис. 4). Розмір індивідів аланіту в агрегатах — 10–20 мкм, світло-коричневого або бурого кольору. Слабо анізотропні, тісно асоціюють з титанистим магнетитом, хлоритом, халцедоном та кальцитом. Ці самі мінерали утворюють виразні ореоли довкола ниркоподібних агрегатів.

Результати хімічного аналізу мінералу показують певні коливання вмісту елементів у окремих індивідах (табл. 3). Розраховані за результатами аналізу кристалохімічні формули свідчать про очевидний дефіцит *REE*, позиції яких доповнені кальцієм:

- 1) $\text{Ca}_{1,45}\text{REE}_{0,49}\text{Al}_{2,14}\text{Fe}_{0,84}\text{Si}_{3,08}\text{O}_{12}(\text{OH})$;
- 2) $\text{Ca}_{1,43}\text{REE}_{0,49}\text{Al}_{2,20}\text{Fe}_{0,81}\text{Si}_{3,06}\text{O}_{12}(\text{OH})$;
- 3) $\text{Ca}_{1,37}\text{REE}_{0,58}\text{Al}_{2,08}\text{Fe}_{0,93}\text{Si}_{3,03}\text{O}_{12}(\text{OH})$;

Таблиця 2. Мінеральний склад порід

Мінерали	Зразки*			Мінерали	Зразки*		
	1	2	3		1	2	3
Альбіт	+	+	—	Магнетит титанистий	—	+	+
Калішпат	—	—	+	Апатит	—	—	+
Мусковіт	—	—	+	Кальцит	+	+	+
Аніт (біотит)	—	—	—	Барит	—	+	—
Кварц (халцедон)	+	+	+	Галіт	—	—	+
Хлорит	+	+	+	Сульфіди Cu	+	+	—
Титаніт	+	+	—	Гранат	+	+	—
Ільменіт	+	+	+	Аланіт	—	—	+
Гематит	+	+	+				

*Номери зразків відповідають рис. 1.

- 4) $\text{Ca}_{1,36}\text{REE}_{0,52}\text{Al}_{2,21}\text{Fe}_{0,86}\text{Si}_{3,05}\text{O}_{12}(\text{OH})$;
 5) $\text{Ca}_{1,51}\text{REE}_{0,45}\text{Al}_{2,35}\text{Fe}_{0,59}\text{Si}_{3,09}\text{O}_{12}(\text{OH})$;
 6) $\text{Ca}_{1,62}\text{REE}_{0,31}\text{Al}_{2,41}\text{Fe}_{0,60}\text{Si}_{3,05}\text{O}_{12}(\text{OH})$;
 7) $\text{Ca}_{1,65}\text{REE}_{0,26}\text{Al}_{2,37}\text{Fe}_{0,62}\text{Si}_{3,10}\text{O}_{12}(\text{OH})$;
 8) $\text{Ca}_{1,42}\text{REE}_{0,59}\text{Al}_{2,30}\text{Fe}_{0,63}\text{Si}_{3,06}\text{O}_{12}(\text{OH})$.

Домінування Ce серед REE дає змогу ідентифікувати знайдений мінерал як церієвий вид — аланіт-(Ce), із загальною для восьми результатів аналізу формулою $\text{Ca}_{1,48}(\text{Ce}_{0,24}\text{La}_{0,13}\text{Pr}_{0,06}\text{Nd}_{0,05})\text{Al}_{2,26}\text{Fe}_{0,74}\text{Si}_{3,07}\text{O}_{12}(\text{OH})$. Вміст Y, Th та U в мінералі нижчий за поріг визначення.

Генезис. Підвищений вміст REE в ефузівах на тлі майже відсутності у вапняках вказує на базальтову лаву як джерело REE. Співвідношення Zr до P_2O_5 у лаві, яке за даними [7] можна використати як показник складу вихідної магми, свідчить про те, що вона мала бути основного складу підвищеної лужності. Геохімічно найближчим до магми

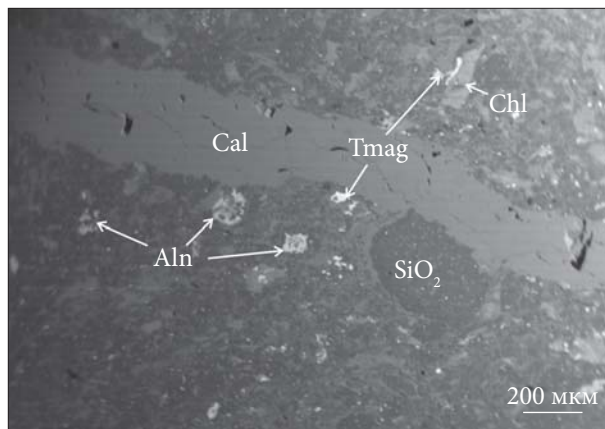


Рис. 4. Ниркоподібні агрегати аланіту (Aln) з ореолом із індивідів халцедону (темніші ділянки). РЕМ-зображення. Абrevіатура мінералів відповідає рис. 2

Таблиця 3. Хімічний склад аланіту і коефіцієнти кристалохімічних формул

Точки аналізу	1	2	3	4	5	6	7	8	Середнє значення
Al_2O_3	19,71	18,6	16,05	19,32	23,27	24,52	24,54	22,19	21,03
SiO_2	33,53	30,4	27,57	31,44	36,04	36,5	37,81	34,73	33,50
CaO	14,69	13,3	11,66	13,09	16,44	18,12	18,79	15,04	15,14
TiO_2	0,02	0	0,12	0,53	0,67	0,89	0	0	0,28
FeO	10,92	9,69	10,08	10,60	8,26	8,65	8,98	8,59	9,47
La_2O_3	5,29	4,6	5,53	5,14	2,91	1,65	1,11	4,3	3,82
Ce_2O_3	7,79	7,23	8,29	8,36	7,09	4,39	3,99	9,15	7,04
Pr_2O_3	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	1,94	1,39	1,62	2,16	1,78
Nd_2O_3	1,62	1,51	0,61	1,14	2,39	2,78	2,08	2,84	1,87
Сума	93,57	85,33	79,91	89,62	99,01	98,89	98,92	99,00	93,03
ΣREE	14,70	13,34	14,43	14,64	14,33	10,21	8,80	18,45	13,61
Кристалохімічні коефіцієнти в перерахунку на 8 катіонів									
Si^{4+}	3,08	3,06	3,03	3,05	3,09	3,05	3,10	3,06	3,07
Al^{3+}	2,14	2,20	2,08	2,21	2,35	2,41	2,37	2,30	2,26
La^{3+}	0,18	0,17	0,22	0,18	0,09	0,05	0,03	0,14	0,13
Ce^{3+}	0,26	0,27	0,33	0,30	0,22	0,13	0,12	0,29	0,24
Nd^{3+}	0,05	0,05	0,02	0,04	0,07	0,08	0,05	0,07	0,05
Pr^{3+}	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	0,06	0,04	0,06	0,09	0,06
Ca^{2+}	1,45	1,43	1,37	1,36	1,51	1,62	1,65	1,42	1,48
Fe^{2+}	0,84	0,81	0,93	0,86	0,59	0,60	0,62	0,63	0,74
ΣREE^{3+}	0,49	0,49	0,58	0,52	0,45	0,31	0,26	0,59	0,46

Примітка. 1—4 — аналізатор JXA-733; 5—8 — аналізатор JED2300 JSM-6700F (аналітик Ю.О. Литвиненко). Н.в. — елемент не визначали.

лужнобазальтового складу є зразок 1, що характеризується також високим вмістом *REE* елементів: $La+Ce+Y=490$ ppm.

Утворення аланіту в ксеноліті органогенних вапняків серед спілітизованих ефузивів, найімовірніше, зумовлено процесами контактового метасоматозу в приповерхневих умовах за температури 350—500 °С (зеленосланцева фація метаморфізму). Аланіт міг утворитися як результат гідротермальної взаємодії збагаченого на залізо і *REE* розплаву із органогенними карбонатними рештками вапняків, внаслідок чого його виділення набули ниркоподібної форми. Наявність галіту непрямо свідчить про участь морської води в метасоматичному процесі.

Висновки. Попри те, що рідкісноземельний силікат аланіт належить до поширених акцесорних мінералів у магматичних породах Українського щита, у Карпатському регіоні його знахідки нечисленні, в Українських Карпатах взагалі були невідомі.

Виявлений у чивчинській світі Мармароського масиву мінерал ідентифікований як аланіт-(Ce) з помітним дефіцитом *REE*, що заміщені кальцієм. Це другий рідкісноземельний мінерал, знайдений в Українських Карпатах. Він утворився внаслідок взаємодії збагаченої на *REE* основної магми, вірогідно підвищеної лужності, з мезозойськими теригенно-карбонатними породами.

Вміст *REE*, а також Co, в ефузивах чивчинської світи в декілька разів перевищує кларковий, що робить ці породи перспективними щодо пошуку генетично зв'язаних з ними відповідних рудопроявів у Карпатському регіоні.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Мінерали України. Краткий справочник: Шербак Н.П. (отв. ред.). Киев: Наук. думка, 1990. 408 с.
2. Шеремет Е.М., Кривдик С.Г., Стрекозов С.Н. Перспективи виявлення рідкоземельних месторождений «анадольского типа» в Приазовье (Украина). *Мінерал. журн.* 2017. **39**, № 3. С. 85—101. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.03.085>
3. Udubaşa Gh., Āuda R., Szakáll S., Kvasnytsya V., Koszowska E., Novák M. Minerals of the Carpathians. Prague: Granit, 2002. 480 p.
4. Мінерали Українських Карпат. Борати, арсенати, фосфати, молібдати, сульфати, карбонати, органічні мінерали і мінералоїди: Матковський О.І. (гол. ред.). Львів: ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2003. 344 с.
5. Мацьків Б.В., Пукач Б.Д., Воробканич В.М., Пастуханова С.В., Гнилко О.М. Державна геологічна карта України. Масштаб 1 : 200000. Аркуш М-35-XXXI (Надвірна). Пояснювальна записка. Київ, 2009. 177 с.
6. Стратиграфія верхнього протерозою та фанерозою України: у 2 т. Т. 1: Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України: Гожик П.Ф. (гол. ред.). Київ: Логос, 2013. 637 с.
7. Floyd P.A., Winchester J.A. Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1975. **27**, Iss. 2. P. 211—218. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90031-X)

Надійшла до редакції 26.11.2025

REFERENCES

1. Shcherbak, N. P. (Ed. chief). (1990). Minerals of Ukraine. Brief reference book. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
2. Sheremet, Ye. M., Kryvdik, S. G. & Strekozov, S. N. (2017). Prospects for identifying rare-earth deposits of “Anadol type” in the Azov Sea Area (Ukraine). *Mineral. Journ.*, 39, No. 3. pp. 85—101 (in Russian). <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.03.085>
3. Udubaşa, Gh., Āuda, R., Szakáll, S., Kvasnytsya, V., Koszowska, E. & Novák, M. (2002). Minerals of the Carpathians. Prague: Granit.
4. Matkovsky, O. I. (Ed. chief). (2003). Minerals of the Ukrainian Carpathians. Borates, arsenates, phosphates, molybdates, sulfates, carbonates, organic minerals and mineraloids. Lviv: VC LNU im. Ivana Franka (in Ukrainian).

5. Matskiv, B. V., Pukach, B. D., Vorobkanych, V. M., Pastukhanova, S. V. & Hnylko, O. M. (2009). State geological map of Ukraine. Scale 1 : 200000. Sheet M-35-XXXI (Nadvirna). Explanatory note. Kyiv (in Ukrainian).
6. Gozhik, P. F. (Ed. chief). (2013). Stratigraphy of the Upper Proterozoic and Phanerozoic of Ukraine: in 2 vol. Vol. 1: Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine. Kyiv: Logos (in Ukrainian).
7. Floyd, P. A. & Winchester, J. A. (1975). Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. Earth Planet. Sci. Lett., 27, Iss. 2, pp. 211-218. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(75\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90031-X)

Received 26.11.2025

V.M. Belskyi, <https://orcid.org/0000-0001-7990-1386>

H.O. Kulchytska, <https://orcid.org/0000-0002-7206-4797>

K.I. Hoholev, <https://orcid.org/0000-0002-7727-9965>

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

E-mail: kulchechanna@gmail.com

E-mail: belskyi.vm@gmail.com

THE FIRST DISCOVERY OF ALLANITE-(CE) IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Rare earth silicate from the epidote supergroup was found in a metamorphosed xenolith of terrigenous-carbonate rock among the spilitized Mesozoic (J3-K1) effusives of the Chyvchyny suite in the Marmaros massif of the Carpathians. The content of Co and REE in the effusives is several times higher than that of Clark. U, Th and Y were not found. According to the results of microprobe analyses, the mineral was identified as allanite-(Ce). This is the first discovery of allanite in the Ukrainian Carpathians and the second discovery of a rare-earth mineral (after monazite) in this region. Individuals of the mineral with a size of 10–20 μm , together with chalcedony, titanite magnetite, chlorite and calcite, form kidney-shaped aggregates up to 100 μm in size. Allanite is brownish-brown in color, weakly anisotropic. Crystal chemical formula: $\text{Ca}_{1.48}\text{REE}_{0.46}\text{Al}_{2.26}\text{Fe}_{0.74}\text{Si}_{3.07}\text{O}_{12}(\text{OH})$ indicates significant substitution of REE positions by calcium. The mineral was formed as a result of the interaction of REE-enriched basaltic lava with limestone rocks.

Keywords: rare earth mineral, reniform aggregates, Chyvchyny suite, Marmaros massif.