

УДК 549.753.1(477)

О.В. Дубина¹, С.Г. Кривдік¹, В.Б. Соболев²

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: kryvdik@ukr.net

² Технічний центр НАН України
04070, м. Київ-70, Україна, вул. Покровська, 13

ІЗОМОРФІЗМ В TR-АПАТИТАХ ЧЕРНІГІВСЬКОГО КАРБОНАТИТОВОГО МАСИВУ

Проаналізовано TR-апатити з визначенням вмісту Ca, P, Si, Na, Sr, TR та інших елементів із твейтозит-піроксенітів, рингітів і бефорситів Чернігівського карбонатитового масиву. Апатити із досліджуваних порід виявилися досить різними. Так, апатити твейтозит-піроксенітів і рингітів характеризуються неоднорідною структурою апатитової матриці. В останній присутні ділянки, збагачені і збіднені на TR та Si. Тобто ізоморфне входження TR разом із Si до структури таких апатитів відбувається за бритолітовою схемою. Крім того, в цих апатитах наявні численні включення новоутворених мінералів, що виникли в результаті субсолідусних перетворень первинних TR-апатитів. Такі включення екслюційних мінералів частіше представлені бритолітом і бастнезитом. TR-апатити із бефорситів відрізняються гомогенною будовою зерен і підвищеною концентрацією TR, Na і Sr. Для таких апатитів характерна беловітова схема ізоморфізму. Виявлені відмінності у будові TR-апатитів зі згаданих порід і значення концентрації в них елементів-домішок можна пояснити відмінними хімічним складом і фізико-хімічними умовами кристалізації вмісних порід.

Вступ. Апатити з підвищеною концентрацією рідкісноземельних елементів (TR) є характерними мінералами для багатьох лужних і карбонатитових комплексів світу. Проте найбільші значення концентрації TR в апатитах, аж до утворення так званих TR-апатитів, спостерігаються в породах з підвищеною лужністю або агпаїтових різновидах. Так, у апатитах із родовищ Хібінського масиву (на загальному тлі підвищених значень концентрації TR — 0,9—2,0 % TR₂O₃) відмічено апатити із вмістом TR₂O₃ до 4,9 % [8], а серед апатитів із меліліт-шорломіт-цеолітових порід масиву трапляються апатити із вмістом TR₂O₃ до 7,7 % [15]. У лужно-ультраосновних породах і нефелінових сієнітах Ловозерського масиву концентрація TR в апатитах досягає 8,17 % TR₂O₃ [3], а в пегматоїдних нефелінових сієнітах до 12 % [2]. Ще більші значення концентрації TR фіксувалися в зональному апатиті із фойїтит

масиву Ілімауссак — до 29,7 % TR₂O₃ [21]. Часто в апатитах цих масивів разом із підвищеною або високою концентрацією TR відмічається і зростання вмісту Sr (до утворення Sr-апатитів). Подібні апатити з високим вмістом TR + Y (до 18 %) були виявлені як включення у бритоліті з сієнітів Азовського родовища [14]. Походження цього апатиту не з'ясовано: він розглядається як продукт розпаду бритоліту [13] або як первинний TR-апатит [1].

Чернігівський масив (Приазов'я) є одним із найбільших карбонатитових масивів Українського щита (УЩ) і одним з найдревніших (близько 2,1 млрд рр.) карбонатитових комплексів світу. Геологічна будова цього масиву, особливості хімічного складу головних типів порід та їх породоутворювальних і акцесорних мінералів достатньо добре вивчені [6].

Чернігівський масив приурочений до так званої зони Чернігівського розлому північно-східного простягання. Магматогенні та мета-

соматичні утворення карбонатитового комплексу залягають серед високометаморфізованих (гранулітова й амфіболітова фації) порід. У цьому карбонатитовому комплексі найбільш поширені породи серії лужних сієнітів і карбонатитів, дещо менше — нефелінові сієніти і лужні піроксеніти. Решта порід (олівініти, перидотити, ійоліт-мельтейгіти) спостерігаються у вигляді включень у карбонатитах або як малопотужні тіла, що трапляються спорадично (есексити та ін.). Загалом, набір порід Чернігівського масиву та їхні геохімічні особливості типові для масивів ультраосновних лужних порід і карбонатитів. На даний час це єдиний в межах УЩ масив лужних порід, де знайдені та вивчені типові апатитоносні та рідкіснометалеві карбонатити.

Апатит як характерний акцесорний або породоутворювальний мінерал наявний у всіх лужних силікатних і карбонатитових породах Чернігівського масиву. Апатитам цього масиву, як і більшості карбонатитових комплексів, притаманні підвищені значення концентрації TR (0,9—3,41 % TR₂O₃), в окремих різновидах відмічається також і підвищений вміст Sr (до 4,6 % SrO). Для лужно-ультраосновних масивів виявлені також різновиди апатиту з надбавкою вищою концентрацією TR — TR-apatiti. Як один із головних мінералів-концентраторів цих елементів TR-apatiti Чернігівського масиву вже неодноразово ставали предметом детальних досліджень. Так, TR-apatiti спостерігалися у рингітах, карбонатитах (бефорситах) [4, 6, 13] і твейтозит-піроксенітах [9, 5].

Нами вивчено апатити із твейтозит-піроксенітів, рингітів і бефорситів Чернігівського масиву. Результати хімічних аналізів порід, з яких відібрано досліджувані TR-apatiti, наведені у табл. 1. Дослідження структури апатитів та їх співвідношень із породоутворювальними мінералами виконано за допомогою петрографічних методів, на мікроаналізаторі JEOL JXA-8200 (Технічний центр НАН України) і сканувальному мікроскопі JEOL JED-6700 (ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України).

Коротка петрографічна характеристика порід.

Твейтозит-піроксеніти трапляються серед лужних сієнітів Чернігівського масиву та є перехідними різновидами від меланократових сієнітів (твейтозитів) до істотно клінопіроксенових порід (твейтозит-піроксенітів). Головними породоутворювальними мінералами їх є егіринвмісний саліт або егірин-саліт (70—80 %)

та апатит (до 10—25), лужний мезопертитовий польовий шпат (15—40), у незначній кількості трапляються кварц, рогова обманка, біотит і кальцит. Акцесорні мінерали представлені ортитом, сфеном, пірохлор-гатчетолітом, магнетитом, сульфідами, цирконом і баритом. Інколи ортит стає породоутворювальним мінералом (до 10—20 %).

Рингіти — малопоширені силікатно-карбонатні породи проміжного складу між сієніт-твейтозитами і карбонатитами. Рингіти спостерігаються у вигляді малопотужних жилоподібних тіл у сієніт-твейтозитах, рідше утворюють потужніші тіла, що перешаровуються із твейтозитами. Складені рингіти кальцитом (15—40 %), егірин-салітом (20—60), лужним K-Na пертитовим польовим шпатом (до 35) і апатитом (7—35 %). Іноді трапляється кварц (до 5 %), характерним акцесорним мінералом є ортит.

Таблиця 1. Хімічний склад порід, з яких досліджено апатит
Table 1. The chemical composition of rocks from which apatites analyzed

Номер з/п	1	2	3	4
Номер зразка	1259/751	1504/749	389/968	ОКТ-1
SiO ₂	46,48	32,60	4,27	55,28
TiO ₂	0,49	0,10	0,09	0,04
Al ₂ O ₃	3,31	1,25	0,15	19,68
Fe ₂ O ₃	3,60	2,45	8,25	5,57
Fe	6,75	5,31	8,64	0,74
MnO	0,66	0,56	1,24	0,42
MgO	6,71	6,30	9,28	0,16
CaO	21,76	32,34	28,45	0,97
SrO	—	—	4,74	—
BaO	—	—	0,20	—
Na ₂ O	2,27	1,28	0,46	11,50
K ₂ O	0,80	0,24	0,06	4,59
P ₂ O ₅	3,88	2,45	1,73	0,04
S	0,02	0,02	0,06	—
CO ₂	1,34	14,02	31,15	0,10
F	0,50	0,31	—	0,47
H ₂ O	—	0,07	0,11	—
В. п. п.	0,52	0,24	0,07	1,24
REE ₂ O ₃	—	0,72	1,68	—
Сума	100,01	100,26	100,81	100,03
Fe/(Fe + Mg)	0,46	0,40	0,49	0,95
Na ₂ O + K ₂ O	3,07	1,52	0,52	16,09
Na + K/Al	1,39	1,89	5,48	1,21

П р и м і т к а. 1 — твейтозит-піроксеніт, 2 — рингіт, 3 — бефорсит, 4 — фоноліт Октябрського масиву.

Not e. 1 — tveitasite-pyroxenite, 2 — ringite, 3 — befor-site, 4 — phonolite of Oktyabrsky massif.

Бефорсити — поширені різновиди карбонатитів Чернігівського масиву, складені доломітом, кальцитом, апатитом, магнетитом, олівіном і флогопітом. Мінеральний склад бефорситів варіює від суттєво карбонатних до силікатно-карбонатних різновидів. Разом зі змінним вмістом карбонатів і силікатів значно змінюється також і кількість апатиту та магнетиту. Серед бефорситів іноді трапляються ділянки істотно апатитових, апатит-магнетитових, олівін-apatитових і флогопіт-apatитових порід (фоскорити) потужністю до декількох метрів.

Апатит із твейтозит-піроксенітів представлений округлими, короткопризматичними або неправильної форми зернами розміром 1,5—2,0 мм, які в штуфах мають червоно-буре (так зване сургучне) забарвлення, що обумовлене сіткою численних дрібних включень темно-червоного (до коричневого) мінералу. У шліфах видно, що розташування включень навіть у одному зерні може бути закономірним (одночасне погасання) або неупорядкованим. У різних розрізах апатиту їх розташування нагадує тонку вкрапленість непрозорого мінералу, що утворює видовжені або видовжено-вигнуті виділення та віялоподібні структури. У схрещених ніколях такі апатити характеризуються підвищеним (до світло-жовтого) двоазломленням і добре помітними дуже дрібними (<0,05 мм) включеннями карбонатного мінералу. Загалом, апатит має тріщинувату структуру. Тріщини часто виповнені червонувато-коричневим мінералом типу гематиту.

За даними мікрозондових досліджень виявлено, що в результаті ексолюційного розпаду первинного апатиту із твейтозит-піроксенітів у ньому утворюються численні включення, представлені частіше бастнезитом і бритолітом, рідше — дрібними включеннями, що складаються із заліза та незначної кількості кремнію. Такі суттєво залізисті включення або сегрегації, очевидно, представлені гематитом у зростках із кварцом (табл. 2, ан. 5). Можливо, що включення гематиту та його розвиток як плівок по тріщинках (як це спостерігалось у шліфах) або навколо включень, разом із вrostками бритоліту і бастнезиту, обумовлюють характерне забарвлення (світло-червоне до темно-коричневого) TR-apatиту. Гематит трапляється як у матриці апатиту, так і на окремих ділянках новоутворених мінералів. Для зерен апатиту із різних зразків може спосте-

рігатися перевага включень одного з мінералів — бритоліту або бастнезиту. За даними мікрозондового дослідження [9], в TR-apatиті із твейтозитів і рингітів Чернігівського масиву основною фазою є бритоліт. Більш пізніми [5] та нашими дослідженнями виявлено, що серед продуктів розпаду таких TR-apatитів, окрім бритоліту, спостерігалися бастнезит, кварц, кальцит, стронціаніт, монацит. Серед новоутворених мінеральних фаз не зафіксовано ортити (його відмічено лише на контакті зерен апатиту).

У апатитовій матриці також фіксуються дрібні (5—25 мкм) неправильної форми і неоднорідної будови включення з різним вмістом Si, P та F і, загалом, проміжним складом між бритолітом і бастнезитом (табл. 2, ан. 7; рис. 1). Форма новоутворених мінералів часто неправильна або неправильно-ізометрична з нерівними гранями, іноді створюють видовжено-округлі утворення розміром 5—90 мкм. Під час мікрозондових досліджень будь-якої закономірності чи упорядкованості, як це було характерним у петрографічних шліфах, у розташуванні новоутворених мінералів у матриці апатиту не спостерігалось.

Бритоліт трапляється у вигляді неправильних видовжених або ксеноморфних виділень розміром до 70 мкм. Кристали різної форми відрізняються і за внутрішньою структурою. Продовгуваті (більш ідіоморфні) кристалики бритоліту мають рівні грані і характеризуються однорідною структурою. У більш ксеноморфних включеннях бритоліту спостерігається неоднорідна будова, обумовлена численними включеннями (або реліктами), що, очевидно, представлені апатитом. Іноді на контакті такого бритоліту із вмісним апатитом простежуються структури типу "розчинення" (рис. 1, *d*). Можливо, що ексолюційні включення бритоліту є більш ранніми, ніж бастнезиту, який міг заміщувати бритоліт на пізніших стадіях. Однак нам не вдалося помітити ознаки такого процесу.

Окрім ексолюційного розпаду апатиту з утворенням нових мінеральних фаз добре проявляється неоднорідність будови й апатитової матриці, як це відмічалось [9]. Останній має секторіальну або плямисту структуру (рис. 1, *a*, *c*), що складається зі світліших та темніших ділянок, які мають різний розмір та неправильну форму і відрізняються за концентрацією Si та TR. Концентрація останніх пропор-

ційно зростає зі збільшенням вмісту Si. У світло-сірих ділянках фіксується підвищений вміст SiO_2 і TR_2O_3 , у темно-сірих їх концентрація менша (табл. 2). Суттєвої різниці за вмістом Sr та Y між такими ділянками не спостерігається, хоча деяка перевага цих елементів також характерна для ділянок із вищими значеннями концентрації SiO_2 і TR_2O_3 .

Апатит із рингітів утворює неправильно-ізометричні або видовжено-призматичні кристали розміром 0,2–1,0 см із симплектитоподібними структурами розпаду темно-коричневого мінералу в асоціації з гідроксидами заліза. У схрещених ніколях добре проявляються

високодвозаломлені численні включення неправильної чи ізометричної форми карбонатного мінералу. Іноді, як і в згаданих вище твейтозит-піроксенітах, в TR-апатитах рингітів спостерігається підвищене (світло-жовте) двозаломлення.

Завдяки мікрозондовим дослідженням показано, що апатит із рингітів характеризується неправильно-зональною (секторіальною, іноді мозаїчною) будовою, часто з густою сіткою дрібних тріщин, що відрізняються за забарвленням та хімічним складом. Апатитова матриця, як і в згаданих твейтозит-піроксенітах, характеризується неоднорідною будовою

Таблиця 2. Аналізи TR-апатиту (ваг. %) і ексолуційних включень із твейтозит-піроксенітів

Table 2. Analyses of TR-apatite (wt. %) and exsolution inclusions from tveitasite-pyroxenites

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO_2	1,86	0,81	4,34	0,87	8,39	0,23	0,09	0,69	6,65	20,71	18,70	21,18
Al_2O_3	—	0,04	—	—	0,23	0,01	0,03	0,06	0,04	0,13	—	—
FeO	0,02	—	0,05	0,05	62,66	0,08	0,12	0,03	0,16	0,32	—	—
MgO	—	—	0,01	0,01	1,84	0,03	—	0,09	0,03	0,03	—	—
MnO	—	—	0,02	—	0,66	—	—	—	—	0,18	—	—
CaO	50,51	51,89	43,11	50,51	1,11	1,45	1,64	1,29	2,11	12,29	11,72	14,22
SrO	2,61	2,38	1,88	1,58	0,02	0,24	0,12	0,08	0,30	0,92	—	—
Na_2O	—	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—
P_2O_5	37,89	40,09	32,40	38,93	0,04	1,24	0,04	4,61	12,82	2,40	2,93	4,01
F	3,23	3,70	3,31	3,64	—	2,91	2,67	2,49	2,31	1,90	—	—
ZrO_2	0,05	0,10	0,01	0,11	0,03	—	0,04	—	0,03	0,03	—	—
ThO_2	—	—	—	—	—	0,08	—	0,04	0,05	0,55	—	—
Y_2O_3	0,06	0,12	0,11	0,03	0,13	0,48	0,62	0,35	0,36	0,61	—	—
La_2O_3	1,39	0,44	3,56	0,79	0,20	22,31	22,62	22,42	19,52	15,41	23,22	20,18
Ce_2O_3	2,24	0,97	6,12	1,37	0,66	34,33	35,09	32,55	34,16	28,99	43,43	40,41
Pr_2O_3	0,15	0,04	0,32	0,04	0,09	0,76	1,06	0,68	0,82	1,72	—	—
Nd_2O_3	0,70	0,34	2,18	0,40	0,27	9,64	10,97	9,46	8,88	8,12	—	—
Sm_2O_3	0,13	0,05	0,16	—	0,09	0,98	1,10	0,93	0,97	0,99	—	—
Eu_2O_3	0,05	0,07	0,09	0,04	0,01	0,97	1,09	0,82	0,91	0,88	—	—
Gd_2O_3	—	0,18	—	0,09	0,04	0,04	0,63	0,22	0,09	0,14	—	—
Tb_2O_3	—	0,01	—	—	—	0,08	0,07	0,04	—	—	—	—
Dy_2O_3	0,01	0,02	0,12	—	0,13	—	—	—	—	—	—	—
Ho_2O_3	—	0,12	—	—	0,01	0,11	0,20	—	—	—	—	—
Er_2O_3	0,03	0,04	—	—	—	—	—	0,03	—	—	—	—
Yb_2O_3	—	0,01	—	0,05	0,10	—	—	—	0,05	—	—	—
$\Sigma\text{TR}_2\text{O}_3$	4,69	2,28	12,55	2,79	1,58	69,21	72,83	67,15	65,40	56,25	66,65	60,59
Сума	100,91	101,40	97,79	98,51	76,68	75,95	78,20	76,88	90,26	96,31	100,00	100,00

Примітка. Аналізи: 1–10 — мікрозондові; 11, 12 — сканувальний мікроскоп. 1, 3 — збагачені TR і Si ділянки (світло-сірі) неоднорідного апатиту; 2, 4 — темно-сірі ділянки неоднорідного апатиту; 5 — включення гематиту; 6–8 — ексолуційні включення бастнезиту; 9 — перехідне між бритолїтом і бастнезитом включення; 10–12 — включення бритолїту.

Note. Analyses: 1–10 — microprobe; 11, 12 — scanned microprobe. 1, 3 — enriched in TR and Si (light gray) parts of inhomogeneous apatite; 2, 4 — dark gray parts of the inhomogeneous apatites; 5 — hematite inclusion; 6–8 — exsolution bastnaesite inclusions; 9 — inclusion of intermediate composition between britholite and bastnaesite; 10–12 — britholite inclusions.

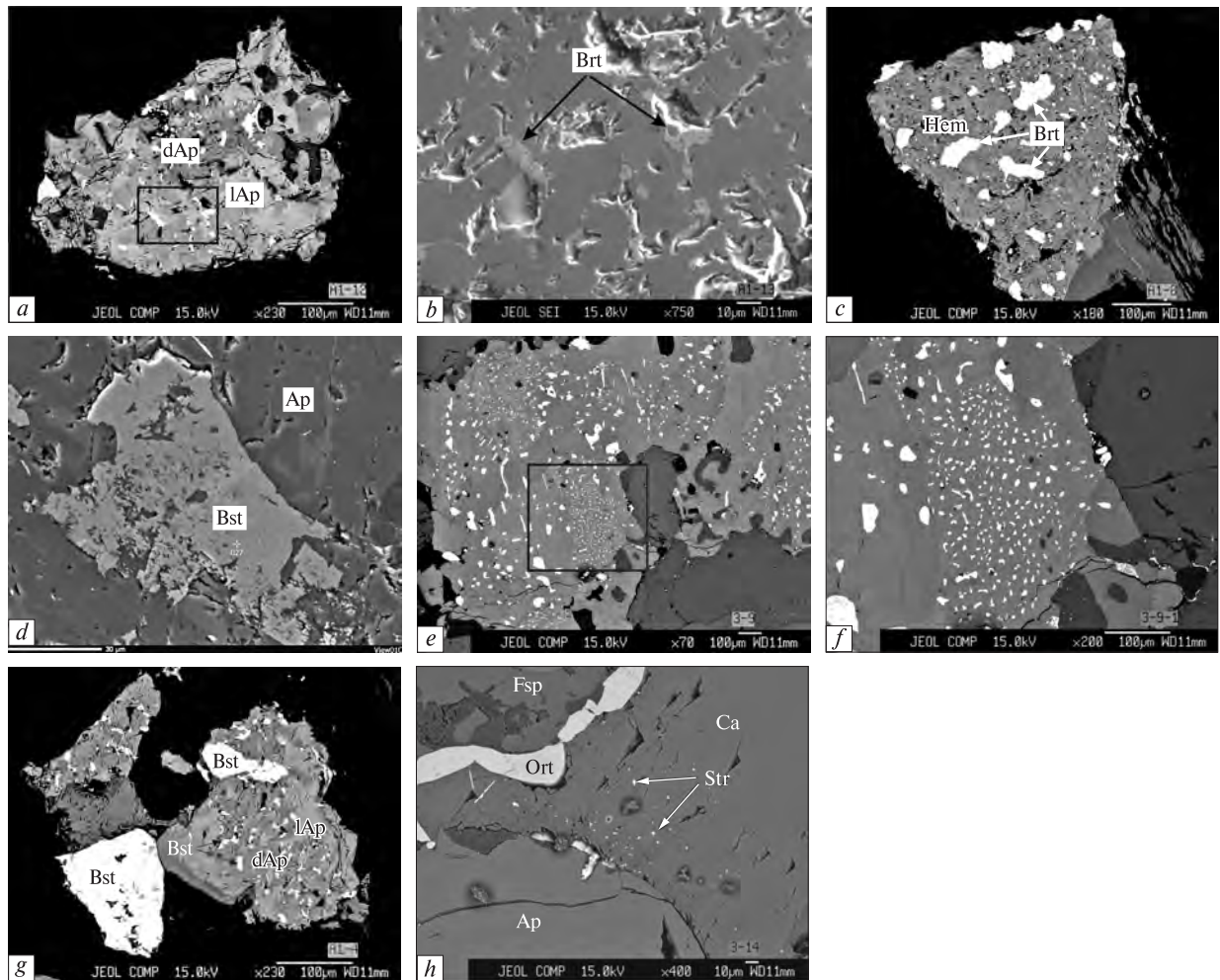


Рис. 1. TR-апатит (у відбитих променях). Твейтосит-пироксеніту: a — зерно TR-апатиту (світле — включення бритоліту (Brt)), lAp і dAp — світліші і темніші ділянки апатитової матриці відповідно; b — ксеноморфні включення бритоліту, збільшений фрагмент попереднього фото; c — ксеноморфні ексолуційні включення бритоліту і гематиту в апатиті; d — кавернозна структура ксеноморфного включення бритоліту; ringіті: e — ксеноморфне зерно TR-апатиту неоднорідною за структурою з численними і різними за розміром та формою включеннями баствезиту; f — збільшений фрагмент попереднього зерна із ділянкою дрібних і близьких за розміром включень баствезиту; g — кристал апатиту із неоднорідною структурою матриці, у зростках із включеннями баствезиту; h — контакт однорідного зерна апатиту із кальцитом (Ca), в якому знаходяться дрібні включення стронціаніту (Str), на контакті кальциту з польовим шпатом (Fsp) прожилкоподібний ортит (Ort)

Fig. 1. Images of TR-apatites (backscattered electrons). Tveitosite-pyroxenite: a — grain of TR-apatite (light — britholite inclusions (Brt), lAp and dAp — light and dark areas of apatite matrix); b — xenomorphic britholite inclusions, enlarged part of the previous image; c — xenomorphic exsolution britholite and hematite inclusions in apatite; d — cavernous texture of xenomorphic bastnaesite inclusion; ringites: e — xenomorphic grain of TR-apatite with inhomogeneous texture and numerous and divers size and shape bastnaesite inclusions; f — enlarged part of the previous grain with the area of the fine and same size bastnaesite inclusions; g — apatite grain of inhomogeneous matrix texture with bastnaesite intergrowths and inclusions; h — border of homogeneous apatite and calcite (Ca) with fine strontianite inclusions (Str), the vein-like orthite (Ort) between calcite and feldspar (Fsp)

(рис. 1). У світло-сірих ділянках апатиту зафіксовано підвищену концентрацію SiO_2 (2,30–3,79 %) та TR_2O_3 (7,00–11,19) (табл. 3, ан. 1, 3, 5), а у темно-сірих вміст цих елементів значно нижчий — SiO_2 (1,38–2,02 %) та TR_2O_3 (4,19–5,56) (табл. 3, ан. 2, 4, 6). Для останніх також характерна незначна перевага

у концентрації фтору. Зростання концентрації Si та TR в TR-апатиті Чернігівського масиву, як і в апатитах масиву Лімауссак, відбувається пропорційно (рис. 2). Вміст Sr в апатитах із різних зразків рингітів досить мінливий (табл. 3). Рідше трапляються однорідні за структурою (а також без включень ексолуцій-

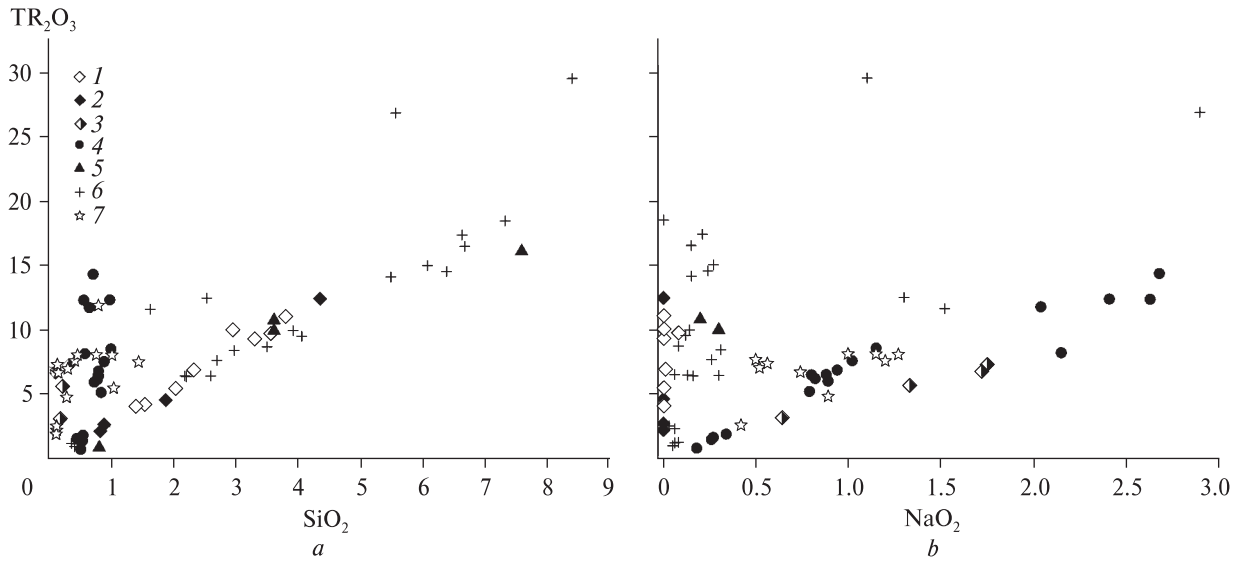


Рис. 2. Бритолітова (а) і беловітова (b) схеми ізоморфізму в TR-апатитах: 1–3 — Чернігівський масив (1 — рингіти, 2 — твейтозити, 3 — бєфорсити); 4 — Октябрський масив; 5 — Азовське родовище; 6 — масив Ілімауссак; 7 — Ловозерський масив

Fig. 2. Britholitic (a) and belovitic (b) isomorphic schemes in TR-apatites: 1–3 — Chernigivka massif (1 — ringites, 2 — tveitasites, 3 — beforsites); 4 — Oktyabrsky massif; 5 — Azov deposit; 6 — Ilimaussaq massif; 7 — Lovozero massif

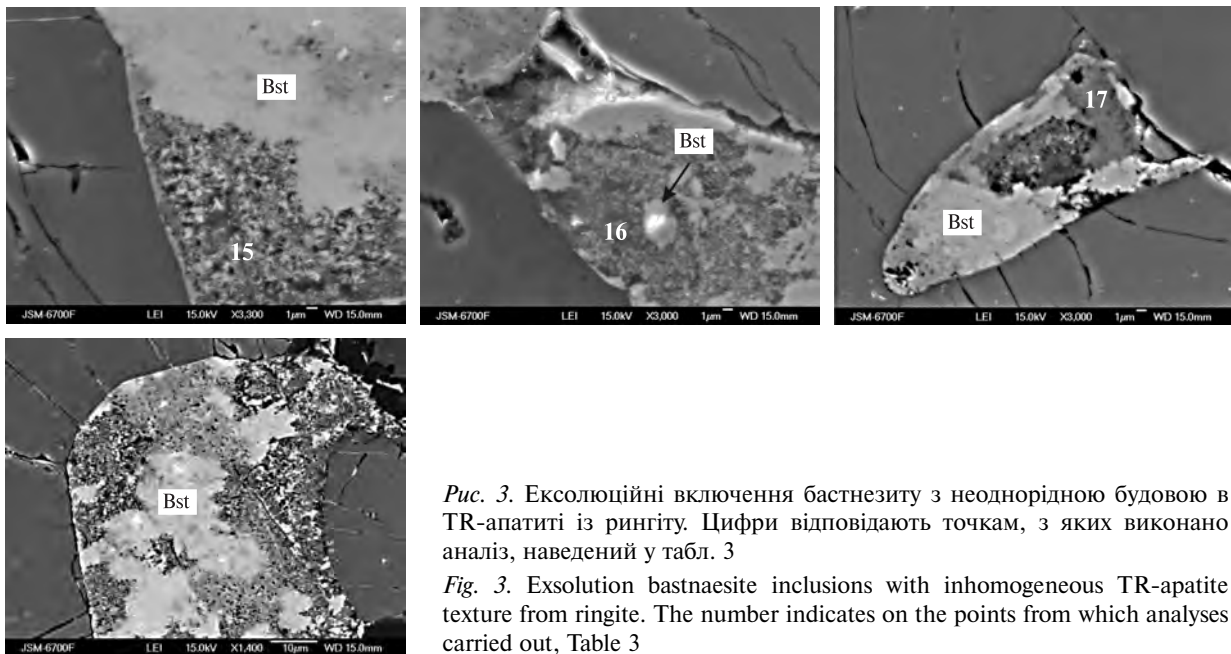


Рис. 3. Ексклюційні включення бастнезиту з неоднорідною будовою в TR-апатиті із рингіту. Цифри відповідають точкам, з яких виконано аналіз, наведений у табл. 3

Fig. 3. Exsolution bastnaesite inclusions with inhomogeneous TR-apatite texture from ringite. The number indicates on the points from which analyses carried out, Table 3

них мінералів) кристалики апатиту, в яких не фіксуються домішки кремнезему та характерна незначна концентрація TR (табл. 3, ан. 9).

Окрім такої неоднорідної будови апатитової матриці кристали апатиту насичені численними ексклюційними включеннями, що у досліджених нами зразках представлені головним чином бастнезитом, рідше — бритолітом. Іноді трапляються ізометричні включен-

ня (<10 мкм), за складом близькі до монациту (табл. 3, ан. 20). Окрім ексклюційних фаз наявні також ізометричні включення (до 0,2 мм) кальциту та ксеноморфні — кварцу.

Бритоліт фіксується лише у вигляді дрібних (<10 мкм) і неправильних за формою включень. Дрібніші включення бритоліту (~2 мкм) іноді відмічено в асоціації з черв'якоподібними включеннями кварцу. Виявити певні законо-

мірності у розташуванні таких включень в апатитовій матриці під час мікрозондових досліджень не вдалося. У різних ділянках навіть одного зерна апатиту можуть спостерігатися різні за розташуванням, розміром та формою включення цих мінералів (рис. 1, e, g). Рідше серед таких неоднорідних за структурою зерен апатиту наявні ділянки без ексклюзійних включень із однорідною будовою (рис. 1, h). Для більших (50—150 мкм) включень ексклюзійних мінералів властиві переважно неправильно-ізометричні форми, рідше спостерігаються прожилкоподібні, неправильно-видовжені включення, ступінь ідіоморфізму яких зростає

зі зменшенням їх розміру. В окремих частинах кристалів апатиту відносно великі включення відсутні, проте спостерігається багато значно дрібніших (<15 мкм) включень, представлених бастнезитом, що мають (дещо умовно) більш закономірне розташування в апатитовій матриці (рис. 1, f). Окрім такої неоднорідності за розміром включень варіює і хімічний склад бастнезиту. Як виявилось, у кристаликах останнього із різних зерен апатиту (як в одному, так і в різних зразках рингітів) змінюється вміст SiO₂ (0,63—1,60 %), P₂O₅ (0,13—4,86), SrO (0,11—0,54), ThO₂ (0,06—0,43) і F (2,29—3,71 %). Цікавим є також те, що внут-

Таблиця 3. Аналізи TR-апатиту (ваг. %) і ексклюзійних включень із рингітів
Table 3. Analyses of TR-apatite (wt. %) and exsolution inclusions from ringites

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	3,29	2,02	2,30	1,52	3,79	1,38	3,55	2,94	—	0,63	0,82	0,41	0,89	4,33	89,69
Al ₂ O ₃	—	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	—	—	0,03	0,03	0,04	0,06	0,36	—
FeO	0,17	0,13	0,10	—	0,01	0,10	—	0,09	—	0,44	0,39	2,22	0,94	20,22	10,31
MgO	0,01	—	—	0,03	—	—	—	—	—	0,04	0,10	0,10	0,10	0,96	—
MnO	0,04	0,04	—	0,03	0,01	0,03	0,05	0,01	—	—	—	—	—	0,05	—
CaO	47,76	49,94	48,88	50,93	45,17	49,44	47,04	47,44	51,63	1,56	1,44	1,55	2,87	2,46	—
SrO	0,99	1,05	1,31	1,51	3,65	3,99	1,50	1,26	—	0,54	0,45	0,03	0,11	0,40	—
Na ₂ O	—	—	0,08	0,02	—	—	0,08	0,01	—	—	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	36,99	37,93	37,03	38,73	33,75	38,16	35,19	34,59	45,67	4,33	4,86	0,15	0,13	13,67	—
F	3,35	3,55	3,51	3,64	3,04	3,49	3,23	3,52	—	2,33	2,29	3,11	3,61	1,07	—
ZrO ₂	—	—	0,14	0,11	0,12	0,07	0,09	0,12	—	0,02	—	0,04	0,05	0,10	—
ThO ₂	0,04	0,06	—	—	—	0,04	0,03	—	—	—	0,06	0,33	0,43	1,02	—
Y ₂ O ₃	0,07	0,07	0,02	0,09	0,06	0,03	0,12	0,18	—	0,44	0,26	0,32	0,45	0,23	—
La ₂ O ₃	2,36	1,66	1,99	1,33	3,05	1,22	2,81	2,61	—	22,42	20,72	18,76	26,86	12,17	—
Ce ₂ O ₃	4,49	2,37	3,27	1,87	5,44	2,02	4,60	4,85	2,70	33,01	34,39	34,85	24,21	21,14	—
Pr ₂ O ₃	0,50	0,30	0,35	0,11	0,24	0,14	0,42	0,46	—	1,62	1,75	3,22	3,45	1,89	—
Nd ₂ O ₃	1,41	0,84	1,21	0,76	1,88	0,69	1,65	1,69	—	9,08	9,62	11,18	13,30	6,21	—
Sm ₂ O ₃	0,11	0,08	0,09	0,02	0,13	0,02	0,18	0,26	—	1,04	0,80	0,93	1,20	0,54	—
Eu ₂ O ₃	0,20	0,15	—	0,06	0,13	0,02	0,14	0,14	—	0,95	1,03	1,14	1,15	0,51	—
Gd ₂ O ₃	0,01	0,07	0,01	0,08	0,17	0,01	—	—	—	—	0,08	—	—	—	—
Tb ₂ O ₃	0,09	0,01	—	0,03	0,06	0,06	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—
Dy ₂ O ₃	—	0,07	0,04	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—
Ho ₂ O ₃	—	—	0,05	0,10	—	—	0,04	0,06	—	0,24	—	—	0,26	—	—
Er ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0,01	0,01	—	—	—	—	—	—	—
Yb ₂ O ₃	0,28	—	—	—	0,11	—	—	0,04	—	0,06	0,04	0,20	0,01	0,01	—
TR ₂ O ₃	9,44	5,56	7,00	4,35	11,19	4,19	9,86	10,13	2,70	68,42	68,43	70,28	70,44	42,47	—
Сума	102,15	100,37	100,37	100,96	100,81	100,94	100,77	100,29	100,00	78,78	79,12	78,57	80,08	87,33	100,00

Примітка. Аналізи: 1—8, 10—14 — мікрозондові; 9, 15—19 — сканувальний мікроскоп. 1, 3, 5, 7 — збагачені TR і збіднені на TR і Si ділянки (темно-сірі); 8 — включення апатиту у бастнезит; 9 — однорідне за структурою зерно апатиту; неоднорідні за забарвленням і відтінками ділянки в неоднорідних включеннях бастнезиту; 19 — включення брיתоліту; стронціаніту в кальциті; 23 — ортит, що утворюється на контакті кальциту і польового шпату (рис. 1, h).

Note. Analyses: 1—8, 10—14 — microprobe; 9, 15—19 — scanned microprobe. 1, 3, 5, 7 — enriched in TR and Si (light gray) (dark gray) parts; 8 — apatite inclusions in bastnaesite; 9 — homogeneous texture of apatite grain; 10—12 — exsolution bastnaesite inhomogeneous bastnaesite inclusions; 19 — britholite inclusion; 20 — monazite (?); 21 — calcite of ringite; 22 — strontianite between calcite and feldspar (Fig. 1, h).

рішня будова таких включень бастнезиту час-то є гетерогенною і характеризується наявністю неоднорідних за забарвленням і неправильних за формою ділянок (рис. 3). Можливо, вони є зростаннями або ксеноморфними виділеннями чи сегрегаціями декількох мінералів, які, очевидно, складаються із суміші дрібних (<1 мкм) агрегатів гематиту, кварцу, бастнезиту та апатиту (табл. 3, ан. 13—17). Тонка (близько 1 мкм) облямівка гематиту може утворюватися і на границі таких тонкозернистих агрегатів бастнезиту. Можливо, що неоднорідна структура включень бастнезиту та облямівки гематиту і зумовлюють характерний

("сургучний") для TR-apatитів колір у зразках. Серед особливостей хімічного складу таких сегрегацій слід відмітити підвищений вміст Si, Fe, P і знижений — F. В окремих таких неоднорідних виділеннях відмічається підвищена концентрація торію (1,02 % ThO₂, можливо, присутній торит?), у той час як в апатиті матриці і ексклюзійному бастнезиті його концентрація значно нижча. Іноді в бастнезиті трапляються дрібні включення апатиту, які за складом ідентичні збагаченим TR та Si ділянкам апатитових зерен, а також кварцу та кальциту. Серед включень апатиту не було зафіксовано включень ортиту. Проте в рингітах ортит у вигляді облямівки може утворюватися на контакті кальциту і лужного польового шпату (рис. 1, h).

Апатит із бефорситів. На відміну від TR-apatитів із розглянутих вище порід, досліджені TR-apatити із бефорситів мають однорідну будову зерен без видимих ексклюзійних виділень новоутворених мінеральних фаз. На даному етапі досліджень вдалося виявити тільки наявність дрібних (<1 мкм) включень (або виділень?) остаточно не діагностованого Sr-TR карбонатного мінералу (проміжного складу карбоцернаїт — анкіліт або анкіліт — ремондит), що має значний вміст TR і Sr та незначний — Na і Ca (табл. 4, ан. 5, 6). Окрім того, у такому апатиті іноді спостерігаються дрібні включення магнетиту (~1 мкм). Анкіліт і карбоцернаїт у карбонатитах Чернігівського масиву також згадано в публікації [11].

Досить відрізняється апатит із бефорситів від апатитів вище розглянутих твейтозитів і рингітів за хімічним складом. Так, за високого вмісту в цих апатитах TR (5,74—7,39 % TR₂O₃) фіксується значно нижча концентрація SiO₂ і вища — Na₂O (1,33—1,75 %). Простежується закономірне зростання концентрації рідкісноземельних елементів і стронцію зі збільшенням в апатиті вмісту Na₂O. Підвищена концентрація стронцію в апатитах із бефорситів, вірогідно, відображає його високу концентрацію у вмісній породі та ультраагпаїтовий її характер (табл. 1). Відомо, що мінералам лужних порід властива споріднена асоціація Sr і Ca, але в мінералах агпаїтових порід зі Sr, окрім Ca, асоціюють також Na і TR (рис. 2).

Обговорення результатів. Апатити з Чернігівського масиву, як і більшості масивів лужних порід і карбонатитів, характеризуються підвищеною концентрацією рідкісноземель-

	16	17	18	19	20	21	22	23
	6,85	8,20	2,14	8,68	2,22	0,01	—	31,64
	—	—	—	1,74	—	—	0,01	10,96
	—	66,72	93,11	—	—	0,23	0,09	18,42
	—	3,04	—	3,46	—	0,11	0,02	1,18
	—	—	—	—	—	0,38	0,04	0,48
	81,36	0,91	—	3,61	10,28	55,09	14,41	10,03
	—	—	—	—	—	2,41	40,32	0,18
	—	—	—	—	—	0,01	—	0,02
	7,27	—	4,75	19,12	29,78	0,04	0,03	0,01
	—	—	—	—	—	—	—	0,21
	—	—	—	—	—	—	0,04	0,00
	—	—	—	—	—	—	—	0,01
	—	—	—	—	—	—	—	0,05
	—	—	—	24,52	21,22	—	0,15	11,98
	—	—	—	38,87	36,50	—	0,04	12,38
	—	—	—	—	—	—	—	0,36
	—	—	—	—	—	0,01	—	1,36
	—	—	—	—	—	—	0,02	0,08
	—	—	—	—	—	—	—	0,16
	—	—	—	—	—	0,02	0,03	0,00
	—	—	—	—	—	0,07	0,09	0,00
	—	—	—	—	—	0,14	0,21	0,02
	—	—	—	—	—	—	0,22	0,00
	—	—	—	—	—	—	—	0,00
	—	—	—	—	—	0,06	0,02	0,03
	—	—	—	63,39	—	0,31	0,77	26,37
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	58,60	55,72	99,56

Si ділянки (світло-сірі) неоднорідного апатиту; 2, 4, 6 — 10—12 — ексклюзійні включення бастнезиту; 13—18 — 20 — монацит (?); 21 — кальцит рингіту; 22 — включення

parts of inhomogeneous apatite; 2, 4, 6 — depleted in TR and Si inclusion; 13—18 — heterogeneous (by colour) parts in the inclusion in calcite; 23 — orthite that formed on the border

них елементів [4, 13, 10, 9]. Проте кристалізація TR-апатитів відбувається лише в аґаїтових або ультрааґаїтових породах, до яких належать розглянуті твейтозит-піроксеніти, рингіти і бефорсити.

Як видно з рис. 2, у TR-апатитах Чернігівського масиву проявляються окремо бритолітова та беловітова схеми ізоморфізму, тоді як в апатитах масиву Ілімауссак, окрім цих двох схем ізоморфізму зафіксовано складніший гетерогенний ізоморфізм з суміщенням цих двох схем (з одночасним зростанням концентрації TR, Si і Na) [20, 21]. Подібний але слабо ви-

Таблиця 4. Результати мікрзондового аналізу (вар. %) TR-апатиту із бефорситу

Table 4. Microprobe TR-apatite analyses (wt. %) of beforsite

Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0,30	0,09	0,20	4,46	—	—
Al ₂ O ₃	0,01	—	—	0,01	0,01	0,04
FeO	0,16	0,10	0,18	69,27	—	—
MgO	0,07	0,07	0,03	0,02	—	—
MnO	0,12	0,12	0,09	0,12	—	—
CaO	44,63	44,27	46,70	8,18	9,44	5,25
SrO	4,37	4,31	4,55	1,91	41,91	34,62
Na ₂ O	1,75	1,72	1,33	0,28	1,75	1,56
P ₂ O ₅	39,79	39,70	40,19	7,37	1,44	0,21
F	2,85	2,74	3,20	0,18	0,14	—
ZrO ₂	0,09	0,28	0,16	0,06	0,01	0,04
ThO ₂	0,02	—	—	—	—	—
Y ₂ O ₃	0,07	—	—	—	—	—
La ₂ O ₃	1,40	1,38	1,10	0,10	2,54	5,90
Ce ₂ O ₃	3,71	3,40	3,01	0,60	7,68	13,23
Pr ₂ O ₃	0,43	0,33	0,21	0,08	0,87	1,26
Nd ₂ O ₃	1,61	1,42	1,09	0,24	3,47	4,36
Sm ₂ O ₃	0,08	0,11	0,09	—	0,14	0,12
Eu ₂ O ₃	0,16	0,08	0,17	0,11	0,20	0,37
Gd ₂ O ₃	—	0,03	—	0,01	—	—
Tb ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—
Dy ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—
Ho ₂ O ₃	—	—	0,07	—	—	—
Er ₂ O ₃	—	—	—	—	0,01	0,01
Yb ₂ O ₃	—	0,08	—	0,03	—	—
TR ₂ O ₃	7,39	6,83	5,75	1,16	14,91	25,25
Сума	101,62	100,24	102,35	93,01	69,60	66,98

Примітка. 1—3 — апатит (матриця); 4 — включення магнетиту; 5, 6 — дрібні включення проміжного складу анкіліт-карбоцернаїт (?).

Note. 1—3 — apatite (matrix); 4 — magnetite inclusion; 5, 6 — fine inclusions of intermediate between ancylite and carbochernaitite composition.

ражений ізоморфізм проявляється і в TR-апатиті Октябрського масиву, де по периферії зерен мінералу з високою концентрацією TR відбувається незначне збільшення вмісту SiO₂ (рис. 3, a) та деяке зменшення значення TR₂O₃/Na₂O (рис. 3, b). Можливо, в Октябрському масиві будуть виявлені подібні до ілімауссакських апатити з ще вищими значеннями концентрації Na₂O і TR₂O₃.

Очевидно, що первинний (гомогенний) TR-апатит зберігся лише у бефорситах Чернігівського масиву. Надлишок лугів (особливо натрію), значна концентрація Sr, низька активність кремнекислоти у такому карбонатитовому розплаві сприяли входженню до структури апатиту натрію разом з рідкісноземельними елементами за беловітовою схемою ізоморфізму Na⁺ + TR³⁺ = 2Ca²⁺. Подібний механізм ізоморфного заміщення було простежено для апатитів із аґаїтових порід масиву Ілімауссак, Ловозерського і Октябрського масивів (рис. 2). У фоновітах останнього окрім характерних мінералів аґаїтових порід (Na-катаплейт, серандит, TR-Mn-евдіаліт, хендриксит, кріолит, церит, торіаніт, U-TR-пірохлор) був виявлений зональний (рис. 4) Na-TR-фторапатит (дані В.В. Шаригіна) [16]. Зростання концентрації рідкісноземельних елементів у таких апатитах корелює із пропорційним збільшенням вмісту натрію у напрямку від центру (1,53—1,95 % TR₂O₃, 0,26—0,34 — Na₂O) до периферії (11,86—14,46 % TR₂O₃, 2,04—2,68 — Na₂O) за незначного зростання вмісту кремнезему (0,413—0,98 % SiO₂). Із результатів експериментальних робіт [19] випливає, що збільшення вмісту натрію в апатитах можливе за умов пропорційного зростання його вмісту і в силікатному розплаві.

Детальніше вплив аґаїтності породи на концентрацію TR в апатитах лужних порід УЩ ми розглядали в попередній публікації [7]. Нагадаємо лише, що на прикладі апатитів із порід Чернігівського і Октябрського масивів було прослідковано тенденцію до зростання вмісту TR у мінералі зі зростанням аґаїтності вмісної породи. Ще одним чинником, що може істотно впливати на кристалізацію TR-апатитів у карбонатитах, є хімічний склад магматичного розплаву, а саме концентрація кремнію, кальцію та фосфору. За даними експериментальних досліджень з визначення коефіцієнта розподілу TR між апатитом і карбонатитовим розплавом ($D_{TR}^{Ap/Carbon}$), просте-

жено закономірність до різкого зростання $D_{TR}^{Ap/Carbon}$ із пониженням концентрації фосфору [18]. Відомо, що бейфорсити Чернігівського масиву відрізняються за вмістом P_2O_5 (0,03—10,93 %) [10]. Проте TR-апатити виявлені нами саме у різновидах із низьким вмістом фосфору (табл. 1), що узгоджується зі згаданими експериментальними даними. У розплавах, більш насичених SiO_2 , з яких формувалися рингіти і твейтозити (твейтозит-піроксеніти) рідкісноземельні елементи ізоморфно входять до структури апатиту за бритолітовою схемою $Si^{4+} + TR^{3+} = Ca^{2+} + P^{5+}$, що, очевидно, викликано високим вмістом кремнезему у них [10]. Концентрація стронцію в таких апатитах не корелює з вмістом SiO_2 , Na_2O та TR_2O_3 і, вірогідніше, залежить, як згадано вище, від агапайтності вмісних порід [7].

У силікатних розплавах $D_{TR}^{ap/melt}$ залежить від вмісту кремнію (зі зменшенням його вмісту у породі істотно знижується і $D_{TR}^{ap/melt}$), а $D_{Sr}^{ap/melt}$ — від вмісту кальцію у породі (зменшення концентрації CaO зумовлює зростання $D_{Sr}^{ap/melt}$) [19]. Очевидно, ще вищі значення концентрації TR слід очікувати в маріуполітах Октябрського масиву, які характеризуються вищою (за низького вмісту кальцію) концентрацією SiO_2 . Частково це підтверджено результатами мікрозондового дослідження апатиту (включення у бритоліті) із маріуполітів цього масиву [12]. Проте в зональному Na-TR-фторапатиті Октябрського масиву концентрація SrO є відносно невисокою (0,12—0,43 %) за порівняно низького вмісту кальцію у фонолітах (0,84—0,97 % CaO). Можливо, в даному випадку апатит Октябрського масиву відображає геохімічні характеристики фонолітів масиву, що, як одні із пізніх диференціатів характеризуються надзвичайно низькою концентрацією Ba і Sr. Не виключено, що зональний апатит у фонолітах утворився в процесі доростання ксеногенного апатитового зерна, оскільки первинний апатит для фонолітів та маріуполітів цього масиву не відмічено нами чи попередніми дослідниками.

Неоднорідна структура та значна кількість екслюційних включень новоутворених мінералів суттєво відрізняє TR-апатити із твейтозит-піроксенітів і рингітів від TR-апатитів із бейфорситів Чернігівського масиву. Такі особливості будови TR-апатитів, на наш погляд, пов'язані як з гетерогенною природою твей-

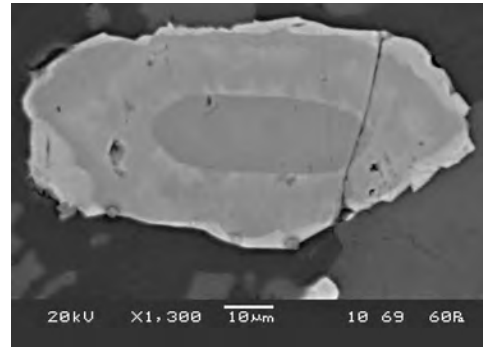


Рис. 4. Зональний кристал апатиту із агапайтових фонолітів Октябрського масиву

Fig. 4. Zoned apatite grain of agpaite phonolites from Okiyabrsky massif

тозит-піроксенітів і рингітів, так і з різними умовами кристалізації апатитів у них.

У попередніх публікаціях утворення таких порід розглядалося як результат змішаності різних за складом порцій магматичного розплаву: сієнітової та твейтозитової магми — для твейтозит-піроксенітів або карбонатитового та лужно-силікатного розплаву — для рингітів [10]. Очевидно, що змішування (або асиміляція) контрастних за складом магматичних розплавів обумовлювало досить різку зміну фізико-хімічних параметрів системи. Так, у мобільному карбонатитовому розплаві, що, очевидно, був первинним для рингітів Чернігівського масиву і вкорінювався в силікатні породи (сієніт-твейтозити), відбувалася асиміляція останніми. У результаті в первинному карбонатитовому розплаві різко зростає концентрація SiO_2 і фемічних компонентів, знижується — лугів та легких компонентів (CO_2 , F). Можливо, що останні відігравали ключову роль, оскільки мінеральний склад (відсутність амфіболу і біотиту) рингітів вказує на їх кристалізацію за досить "сухих" умов. Різка втрата легких компонентів, можливо, відбувалася через їх інфільтрацію у вмісні породи, спричинила різке зменшення парціального тиску флюїдної фази і, як наслідок, зростання температури кристалізації розплаву. На важливу роль легких аніонів (F, Cl) під час розподілу TR між апатитом і магматичним розплавом (окрім хімічного складу розплаву) вказано у роботі [17], де зазначено, що легкі компоненти у структурі апатиту визначають стехіометричні умови заміщення кальцію рідкісноземельними елементами.

Одним із доказів таких процесів змішування розплавів є неправильно-зональна бу-

дова TR-апатитів у цих породах, що, на нашу думку, є наслідком нерівноважних умов кристалізації з гетерогенної (розплав/флюїд) магматичної системи. Неоднорідна структура апатитової матриці також є доказом незавершеності процесу ексклюзійного розпаду, чому, можливо, сприяло швидке охолодження (невелика потужність дайкоподібних тіл рингітів і твейтозит-піроксенітів) в результаті наведених вище причин. На користь такого припущення свідчить і неоднорідна будова ексклюзійних включень бастнезиту, який у процесі зміни умов кристалізації також частково змінюється з утворенням нових мінеральних фаз, збагачених на Si, P і Ca.

За умов різкої зміни фізико-хімічних параметрів магматичної системи (зміна парціального тиску легких компонентів, пониження концентрації та міграція лугів, зростання активності кремнекислоти та ін.) первинний TR-апатит стає метастабільним мінералом, що і обумовлює його ексклюзійний розпад. Очевидно, в розглянутому Si-TR-апатиті вміст TR_2O_3 і SiO_2 досягав 10–13 і 3–5 % відповідно, про це можуть свідчити "світлі" ділянки апатиту, збагачені цими елементами (табл. 2, 3), та результати валового хімічного аналізу цього мінералу [9, 10].

Можна припустити, що на перших стадіях відбувався розпад твердих розчинів з утворенням ізоструктурних фаз апатиту (з ділянками різного вмісту TR_2O_3 і SiO_2) і бритоліту. Далі бритоліт як нестійкий мінерал заміщувався бастнезитом, монацитом і кварцом. Такі перетворення можна назвати субсольвусними (як це має місце у процесі заміщення ульвошпінелі ільменітом у титаномагнетиті).

Отримані дані дають підстави вважати, що в лужних породах і карбонатитах України існують апатити зі значно вищою, ніж у досліджених, концентрацією TR_2O_3 , SiO_2 , Na_2O і SrO , подібні до таких у масиві Ілімауссак, які можуть характеризуватись і складнішими схемами ізоморфізму. Перспективними для таких знахідок можуть бути агпайтові породи таких масивів, як Октябрський, Покрово-Київський та Малотерсянський.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Азовское* редкометальное месторождение Приазовского мегаблока Украинского щита / Е.М. Шеремет, В.С. Мельников, С.Н. Стрекозов и др. — Донецк : Ноулидж, 2012.

2. *Апатиты*. — М. : Наука, 1968. — 416 с.

3. *Буссен И.В., Сахаров А.С.* Петрология Ловозерского щелочного массива. — Л. : Наука, 1972. — 296 с.

4. *Вилькович Р.В., Пожарская Л.К.* Редкие земли в кальцитах и апатитах карбонатитов Черниговской зоны // *Геохимия*. — 1982. — № 4. — С. 511–518.

5. *Воробьев Е.И.* Полифазный тип распада апатита // Там же. — 2000. — № 5. — С. 661–664.

6. *Глевасский Е.Б., Кривдик С.Г.* Докембрийский карбонатитовый комплекс Приазовья. — Киев : Наук. думка, 1981. — 227 с.

7. *Дубина О.В., Кривдик С.Г., Самчук А.И. та ін.* Закономірності розподілу REE, Y і Sr в апатитах ендегенних родовищ Українського щита (за даними ICP-MS) // *Мінерал. журн.* — 2012. — **34**, № 2. — С. 80–99.

8. *Иванова Т.Н.* Апатитовые месторождения Хибинских тундр. — М. : Госгеолтехиздат, 1963. — 288 с.

9. *Кривдик С.Г., Легкова Г.В., Егорова Л.Н.* Бритолит как продукт распада в редкоземельном апатите // *Мінерал. журн.* — 1990. — **12**, № 4. — С. 92–99.

10. *Кривдик С.Г., Ткачук В.И.* Петрология щелочных пород Украинского щита. — Киев : Наук. думка, 1990. — 407 с.

11. *Кульчицкая А.А., Литвин А.Л., Егорова Л.Н., Легкова Г.В.* Особенности изоморфизма и распада кальцитового твердого раствора черниговского карбонатитового комплекса (Приазовье) // *Мінерал. журн.* — 1990. — **12**, № 1. — С. 57–62.

12. *Марченко Е.Я., Пожарская Л.К., Нечелюстов Г.Н., Стрекозов С.Н.* Типохимические особенности иттрийсодержащих редкоземельных фосфатов Приазовья (Украинский щит) // Там же. — 1995. — **17**, № 6. — С. 3–13.

13. *Марченко Е.Я., Проскурин Г.П.* РЗМ в апатитах Украинского щита // *Мінер. ресурси України*. — 1999. — № 4. — С. 26–29.

14. *Мельников В.С., Гречановська О.Є., Груба В.В. та ін.* Гетерогенність бритоліту Азовського родовища (Східне Приазов'я) // *Мінерал. журн.* — 2007. — **29**, № 3. — С. 14–24.

15. *Хомяков А.П., Шпаченко А.К., Полежаева Л.И.* Меллитовая и редкоземельно-фосфорная минерализация г. Намуайв (Хибины) // *Щелочной магматизм Северо-Восточной части Балтийского щита*. — Апатиты, 1990. — С. 106–119.

16. *Шарыгин В.В., Кривдик С.Г., Поспелова Л.Н., Дубина А.В.* Zп-куплетскит и хендриксит в агпайтовых фолонитах Октябрского массива, Приазовье, Украина // *Докл. РАН*. — 2009. — **425**, № 6. — С. 810–815.

17. *Fleet M.E., Pan Y.* Site preference of rare earth elements in fluorapatite // *Amer. Miner.* — 1995. — **80**. — P. 329–335.

18. *Klemme S., Dalpe C.* Trace-element partitioning between apatite and carbonatite melt // *Ibid.* — 2003. — **88**. — P. 636–646.

19. *Prowatke S., Klemme S.* Trace element partitioning between apatite and silicate melt // *Geochim. et cosmochim. acta*. — 2006. — **70**. — P. 4513–4527.

20. *Ronsbo J.G.* Coupled substitutions involving TRs and Na and Si in apatites in alkaline rocks from the Pimaussaqa intrusion, South Greenland, and the petrological implications // *Amer. Miner.* — 1989. — **74**. — P. 896—901.
21. *Ronsbo J.G.* Apatite in the Pimaussaqa alkaline complex: occurrence, zonation and composition variations // *Lithos.* — 2008. — **106**. — P. 71—82.

Надійшла 22.05.2012

А.В. Дубина, С.Г. Кривдик, В.Б. Соболев

ИЗОМОРФИЗМ В TR-АПАТИТАХ ЧЕРНИГОВСКОГО КАРБОНАТИТОВОГО МАССИВА

Проанализированы TR-апатиты с определением содержания Ca, P, Si, Na, Sr, TR и других элементов из твейтозит-пироксенитов, рингитов и бекфорситов Черниговского карбонатитового массива. Апатиты исследуемых пород оказались довольно разными. Апатиты твейтозит-пироксенитов и рингитов характеризуются неоднородной структурой апатитовой матрицы. В последней присутствуют участки, обогащенные и обедненные TR и Si. Изоморфное вхождение TR вместе с Si в структуру таких апатитов происходит по бритолитовой схеме. Кроме того, в этих апатитах присутствуют многочисленные включения новообразованных минералов, возникшие в результате экслюзионного распада первичных TR-апатитов. Такие включения экслюзионных минералов чаще представлены бритолитом и бастнезитом. TR-апатит из бекфорситов отличается гомогенным строением зерен и повышенной концентрацией TR, Na и Sr. Для таких апатитов характерна беловитовая схема изоморфизма. Выявленные различия в строении TR-апатитов из упомянутых пород и значения концентрации в них элементов-примесей объясняются разным химическим составом и физико-химическими условиями кристаллизации вмещающих пород.

O.V. Dubyna, S.G. Kryvdik, V.B. Sobolev

ISOMORPHISM IN TR-APATITES OF CHERNIGIVKA CARBONATITIC MASSIF

Apatite is present both accessory and rock-forming mineral in all types of alkaline silicate rocks and carbonatites of Chernigivka massif (Azov area). As in most of alkaline ultrabasic and carbonatitic massifs, apatites of Chernigivka have increased content of TR (0.85—3.41 % TR₂O₃) and Sr (0.18—4.6 % SrO). In different types of rocks the concentration of these elements rises together with increasing SiO₂ content in apatite (tveitasite, ringite) or Na₂O (beforsite). The colour of such apatites changes from dark-red to brown because there are exsolution inclusions of cellular, columnar or without any defined forms that were formed during apatite destruction. Collection of these mineral phases can change in different rocks of massif. TR-apatites of tveitasite-pyroxenites, ringites and beforsites of Chernigivka carbonatitic massif were analyzed with definition of Ca, P, Si, Na, Sr, TR contents and other elements. Apatites of these rocks are quite different. So apatites of tveitasite-pyroxenites and ringites are characterized by the unhomogeneous texture of the its matrix. This matrix is presented by apatite that contains isometric and irregular-shaped of neogenic apatite in addition to above mentioned exsolution minerals. The lighter parts of apatite relatively to more dark parts have higher concentration SiO₂ and TR₂O₃. Essential distinction in the other elements (Ca, P, Na, F, Sr) isn't observed. That is isomorphic entering of TR, together with Si, in the apatite structure occurs by britholitic scheme. In addition, numerous inclusions of secondary minerals are present in these apatites that were resulting by exsolution of primary TR-apatite. These inclusions of exsolution minerals are often presented by britholite and bastnaesite. TR-apatite of beforsites is distinguished homogenous of grain textures and increased, except TR, concentrations of Na and Sr. For these apatites the belovitic scheme of isomorphism is characterized. The difference in the TR-apatite textures of mentioned rocks and concentration of trace elements in them due to different chemical composition and physical-chemical conditions of the host rock crystallizations.