

УДК 549.55.08 (477)

Г. Кульчицька, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,  
E-mail: kulchec@ukr.net, тел. моб.: +38(068)187-94-93,  
І. Герасимець, асп.,  
E-mail: Herasimets@i.ua, тел. моб.: +38(096)642-33-28,  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,  
пр. Акад. Палладіна, 34, м. Київ-142, 03680, Україна

## ЗОНАЛЬНІ КРИСТАЛИ БРИТОЛІТУ: МЕТАСОМАТОЗ ЧИ КРИСТАЛІЗАЦІЯ?

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В. А. Нестеровським)

У сієнітових масивах Українського щита з рідкіснометальною мінералізацією неодноразово відмічались зональні кристали, внутрішня зона яких складена бритолітом, а зовнішня аланітом (ортитом). Найбільше бритоліту, оконтуреного аланітом, у сієнітах Азовського штоку, що в Приазов'ї, де цей мінерал утворює промислові скупчення. Генезис таких утворень розглядався і як наслідок заміщення бритоліту постмагматичними флюїдами, і як продукт реакційної взаємодії бритоліту з навколишніми алюмосилікатами. Мета даної роботи – запропонувати інший можливий механізм формування зональних кристалів бритоліту в сієнітах Азовської інтрузії.

Характерними особливостями бритоліту із сієнітів Азовського штоку є різноманітність виділень, мінливий хімічний склад, фазова та структурна неоднорідність. Фазова неоднорідність підкреслена великою кількістю різноманітних твердофазних включень, кристалічних і аморфних, серед яких багато оксидів феруму. Бритоліт повсюдно оконтурений облямівками аланіту, ширина яких на межі з амфіболом вдвічі ширша, ніж така на межі з лужним польовим шпатом. У рудній зоні до аланіту в облямівках долучається флюорит. У статті наведено ряд фактів, що свідчать про відсутність реакційної взаємодії між бритолітом і аланітом та наявність такої з емісуювальними алюмосилікатами. Привернуто увагу до умов кристалізації бритоліту. Це один із раних мінералів сієнітів, що утворився в умовах високої температури (понад 1000°C) і тиску (500–200 МПа) на тлі сильної гетерогенізації розплаву, спричиненої ліквідаційними процесами. Передбачається, що бритоліт утворився з окремих крапель сольового розплаву силікатно-фторидно-фосфатного і силікатно-фосфатного складу, що відокремилися від алюмосилікатного розплаву. Збагачений на Fe розплаву, що залишився в лікватах після кристалізації бритоліту, взаємодіє з навколишнім алюмосилікатним розплавом з утворенням аланіту.

Утворення зональних кристалів бритоліту з аланітовою облямівкою довкола уявляється закономірним наслідком ліквідаційної та кристалізаційної диференціації магматичного розплаву в Азовській сієнітовій інтрузії.

**Ключові слова:** бритоліт, аланіт, розплаву, ліквідація, кристалізація, Азовська інтрузія.

**Вступ.** Зональні кристали, внутрішня зона яких складена бритолітом, а зовнішня аланітом (ортитом), трапляються майже в усіх сієнітових масивах Українського щита з рідкіснометальною мінералізацією, де відомі ці мінерали. Такі утворення описані в Октябрському й Яструбецькому масивах [5], відмічені у сієнітах Великої Виски на південній околиці Корсунь-Новомиргородського плутону. Однак найбільше їх у сієнітах Азовського штоку в Приазов'ї, де концентрація бритоліту досягає промислового рівня. Саме наявність бритоліту як головного концентратора рідкісноземельних елементів (REE) та Y робить Азовське Zr-REE родовище, розміщене у межах штоку, унікальним [1]. Не існує єдиної думки щодо генезису таких утворень. Вони розглядаються і як наслідок заміщення бритоліту аланітом, і як продукт реакційної взаємодії бритоліту з навколишніми алюмосилікатами [3, 5, 9].

Мета роботи – показати, що можливий інший механізм утворення таких кристалів.

**Характеристика бритоліту.** Бритоліт відомий як поширений мінерал Азовського штоку. У рудоносних сієнітах (рудній зоні), на межі між меланократовою та лейкократовою відмінами сієнітів, він один з головних породоутворюючих мінералів. У лейкосієнітах, вище рудної зони, бритоліт не зустрічається, а нижче, в меланосієнітах, міститься в акцесорних кількостях. У рудній зоні бритоліт перебуває в тісній асоціації з цирконом і флюоритом.

Для бритоліту характерні різноманітність виділень, мінливий хімічний склад, фазова та структурна неоднорідність. Ізометричні, коротко- і видовжено-призматичні індивіди бритоліту розміщені повністю або частково всередині великих кристалів анортотлаз-мікропертиту та гастингситу. Ізометричні виділення – кулеподібні, часто чорні або червоні, слабкопрозорі, а видовжено-призматичні кристали – безбарвні та прозорі, наближаються за формою до голчастих. Кулястий бритоліт трапляється всередині кристалів і амфіболу, і лужного польового шпату, видовжені кристали більш характерні для лейкократових ділянок сієнітів (рис. 1).

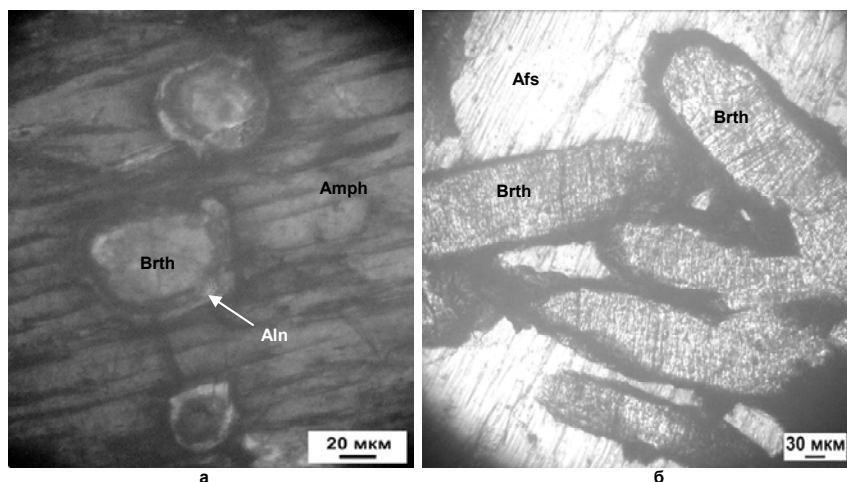


Рис. 1. Кристали бритоліту з облямівками аланіту: ізометричні в амфіболі (а) та видовжено-призматичні в анортотлаз-мікропертиті (б). Мікрофотографія шліфа; ніколи II. Умовні позначення: Brth – бритоліт, Aln – аланіт, Amph – амфібол, Afs – анортотлаз-мікропертит

Повсюдно брітолїт оточений облямівкою з аланїту. Наявність стабільно, що цей факт може бути використаний як діагностична ознака, яка дозволяє відрізнити в шліфах безбарвний брітолїт від подібного апатиту.

На загал, склад мінералу відповідає кристалохімічній формулі  $(Ca_{10-x}REE_x)[P_6-xSixO_{24}](F,OH)_2$  [2]. Серед REE переважає Ce, що дозволяє ідентифікувати мінерал як флуорбрітолїт-(Ce). У формулі враховано лише вміст видозначальних елементів, тоді як аналізи розфокусованим зондом показують ширший компонентний склад мінералу, зумовлений наявністю твердофазних включень – різних за розміром, неоднорідних за складом і в різній кількості. Оптично видимими є циркон і флюорит, іноді пірит, у нерозчинному залишку діагностовано монацит. Ізометричні кристалики циркону часто поширені в торцях індивідів брітолїту, або у безпосередній близькості від них. Привертає увагу той факт, що співвідношення брітолїту і включень циркону в ньому в полі зору мікро-

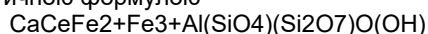
скопа однакове, як це має місце, коли кристалізація відбувається із крапель гомогенного розплаву (рис. 2). Великі включення поодинокі і добре огранені кристалики брітолїту відмічено в цирконі. Дисперсні фази важче піддаються діагностиці, особливо рентгеноаморфні. Їхній якісний склад змінюється по латералі: на одних ділянках домінують оксиди й гідроксиди феруму, на інших – дисперсні включення чевкінітоподібного мінералу, ще на інших домінують REE-флуоркарбонати з монацитом, аж до утворення карбонатних псевдоморфоз по брітолїту. В межах кристалу дисперсні включення розподілені нерівномірно. Спостерігалась закономірна зміна складу включень від центру до периферії, підкреслюючи чітку зональну будову виділень брітолїту. Вміст домішкових фаз не корелює з положенням мінералу в розрізі, щоб можна було пов'язати цей факт зі зміною термодинамічних умов. Слід зазначити, що повні метаморфози флуоркарбонатів по брітолїту не містять аланітової облямівки.



Рис. 2. Кристали брітолїту в анортотлаз-мікропертиті з пропорційними включеннями циркону. Мікрофотографія шліфа; ніколи II. Умовні позначення: Brth – брітолїт, Zrn – циркон, Afs – анортотлаз-мікропертит

Структура брітолїту також неоднорідна. Чорні кулясті виділення частіше ізотропні та рентгеноаморфні, призматичні кристали виявляють чітку анізотропію. Відомі приклади [1], коли аморфною є лише частина кристалу. Варіації розмірів елементарної комірки [1, 9], що перевищують такі для синтетичних зразків і багатьох природних, свідчать, що окрім дисперсних фаз мінерал містить різноманітні ізоморфні домішки, які "розпушують" структуру цього фосфат-силікату. Як варіант, розглядалась аморфізація структури під впливом  $\alpha$ -випромінювання, що призвело до "набухання" мінералу внаслідок взаємодії з водовмісним флюїдом [3]. З наявністю радіоактивних елементів пов'язують утворення псевдоморфоз по брітолїту – внаслідок дії на постмагматичній стадії залишкового флюїду на "розпушену" опроміненням кристалічну ґратку брітолїту [9]. Однак деякі факти суперечать такому висновку, а саме: а) у псевдоморфозах спостерігається надлишок оксидів Fe і REE та дефіцит  $SiO_2$  проти розрахункового складу; б) сингенетичний брітолїту циркон, що містить не менше Th, дуже рідко буває аморфним.

**Характеристика аланїту.** Облямівки цього REE-силікату зі схематичною формулою



постійно оконтурюють виділення брітолїту будь-якої форми, надаючи йому зонального вигляду (див. рис. 1). Складені облямівки індивідами аланїту, довжина яких не перевищує ширини облямівки, орієнтованими відносно граней брітолїту. Індивіди зубчасто виступають у бік вміщуючого амфіболу або польового шпату, зберігаючи порівняно рівні межі з брітолїтом. Мінерал, як

правило, анізотропний, з чітким плеохроїзмом у коричневих тонах. У Азовському родовищі відомі виділення аланїту незалежно від брітолїту. Для нього характерне збагачення на REE при дефіциті Al [1].

Іноді аланїт покриває майже всю поверхню кристалу брітолїту, що виглядає як заміщення останнього. Насправді між цими двома мінералами нема реакційної взаємодії, що підтверджують такі факти:

а) контакт аланїту з брітолїтом порівняно рівний, тоді як із доволішніми мінералами зазубрений. Такі самі рівні межі характерні для брітолїту всередині скупчень аланїту;

б) індивіди аланїту в облямівці розміщені орієнтовано – паралельно або перпендикулярно до поверхні грані брітолїту. Орієнтовані включення аланїтоподібного мінералу, на кшталт структур розпаду, спостерігаються всередині брітолїту, а симплектитоподібні зростки аланїту з брітолїтом у периферійних зонах останнього;

в) ширина аланітових облямівок довкола кристалів брітолїту, що контактують або з польовим шпатом, або з амфіболом, однакова у межах штуча;

г) ширина облямівок довкола кристалів, що контактують з амфіболом, завжди більша, ніж довкола таких у польовому шпаті. Якщо кристал брітолїту перетинає межу гастингсита – анортотлаза, то у тій частині, що примикає до амфіболу, облямівка стає вдвічі ширшою (рис. 3);

д) біля вершин кристалів брітолїту облямівка аланїту ширша, ніж довкола граней вертикального поясу. Попри це, кристали зберігають свій гостробірамідальний-призматичний габітус, інтенсивного розчинення голочок кристалів не спостерігається;

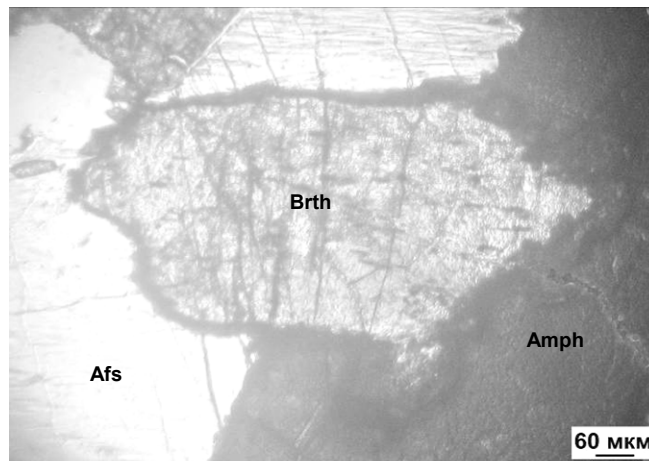


Рис. 3. Кристал бритоліту з облямівкою аланіту, розміщений між анортотлаз-мікропертитом і гасдингситом. Облямівка аланіту з боку амфіболу вдвічі ширша. Мікрофотографія шліфа; ніколи II.  
Умовні позначення: Brth – бритоліт, Amph – амфібол, Afs – анортотлаз-мікропертит

е) аланітова зона утворюється лише на межі бритоліту з амфіболом або польовим шпатом і відсутня на межі з іншими мінералами (флюоритом, цирконом). Довкола включень бритоліту в цирконі аланітова облямівка не фіксувалася;

є) аланіт – не єдиний мінерал, що формує облямівку довкола бритоліту. Подібні утворення зафіксовані

для флюориту, причому флюоритом складена внутрішня зона облямівки, тоді як зовнішню зону формує аланіт (рис. 4). Траплялися випадки сингенетичної кристалізації флюориту з бритолітом. Зерна флюориту розгалуженої форми, так само як ізометричні кристалики циркону, часто бувають хаотично інпрегновані в аланітову облямівку.

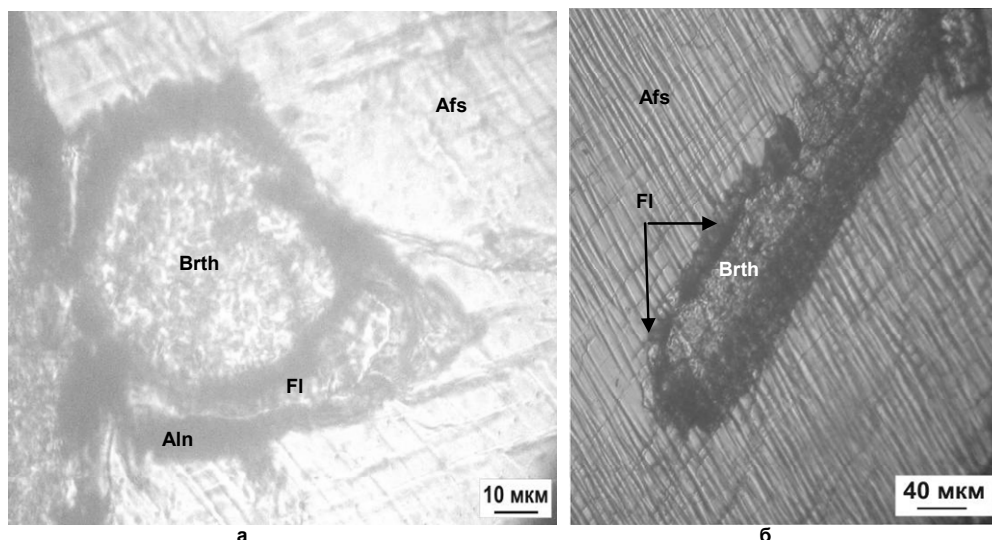


Рис. 4. Облямівки флюориту й аланіту довкола кристалів бритоліту (а, б). Мікрофотографія шліфа; ніколи II.  
Умовні позначення: Brth – бритоліт, Aln – аланіт, Fl – флюорит, Afs – анортотлаз-мікропертит

**Умови утворення мінералів.** Сієніти Азовського штоку – магматичні утворення. Це підтверджують знахідки включень розплаву в цирконі [4], анортотлаз-мікропертиті [7], флюориті [8]. Температура кристалізації циркону перевищувала  $1000^{\circ}\text{C}$ , магматичного флюориту – вище  $800^{\circ}\text{C}$ , а утворення анортотлазу не могло відбутися нижче  $700^{\circ}\text{C}$  [1]. Бритоліт сингенетичний циркону, отже його температура утворення також перевищувала  $1000^{\circ}\text{C}$ . Щодо аланіту, то прямих визначень температури його кристалізації нема, однак вона не може бути нижчою за таку для анортотлазу. Найімовірніше, що вона близька до температури кристалізації магматичного флюориту, який разом з аланітом формує облямівку. Отже, обидва мінерали – і бритоліт, і аланіт – належать до високотемпературних мінералів сієнітів. Щодо тиску, то він визначається умовами утворення анортотлазу й оцінюється межами  $>200<500$  МПа [2].

Характерна особливість Азовської інтрузії – сильна гетерогенізація магматичного розплаву, спричинена ступінчастими ліквідаційними процесами. Вона підтверджена знахідками включень сингенетичних розплавів у анортотлаз-мікропертиті [7] і флюориті [6, 8], які свідчать про розділення вихідного магматичного розплаву на сольову й силікатну складові, а останньої – на лужноалюмосилікатну й фероалюмосилікатну. Факт незмішуваності розплавів підтверджує також форма включень сольових мінералів (бритоліту, флюориту) в силікатних – у вигляді крапель, глобул, закруглених кристалів (рис. 5). Нестабільний склад законсервованих у включеннях лікватів свідчить про неодноразову (ступінчасту) гетерогенізацію залишкового розплаву на тлі зміни РТХ-параметрів у середовищі мінералоутворення й кристалізації головних мінералів.

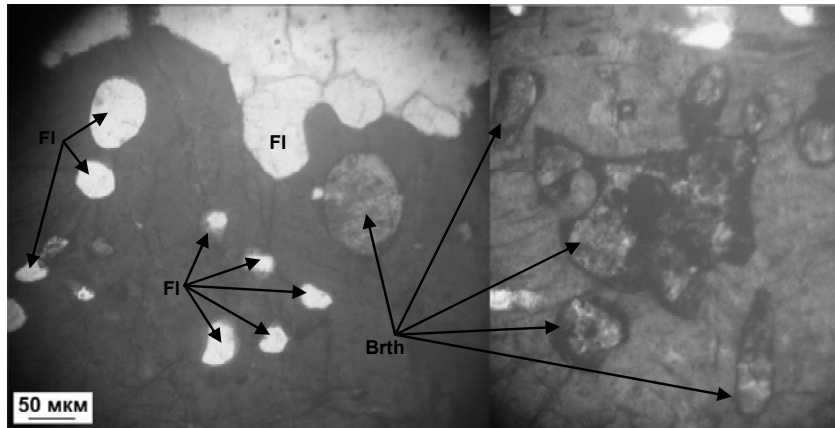


Рис. 5. Кулясті виділення флюориту й бритоліту в амфіболі як кристалізація ліквацийних крапель фторидного й фосфатного розплавів. Мікрофотографія шліфа; ніколи II. Умовні позначення: Brth – бритоліт, FI – флюорит

**Обговорення.** Можливість утворення аланіту як реакційного мінералу на межі двох флюїдів не викликає заперечення. Як правило, це продукт взаємодії флюїдів, збагачених на REE, з такими, що містять Al, оскільки Al – домінуючий елемент для мінералів групи епідоту, до якої належать аланіти. Окрім Al для утворення аланіту необхідні Fe, Ca, Si і H<sub>2</sub>O (або водень). Тому цілком закономірно, що облямітки аланіту зафіксовані в породах лужних масивів Українського щита довкола інших безалюмінієвих мінералів, збагачених на REE і Ca (кальциту, апатиту), що контактують з польовими шпатами [5]. Питання полягає у тому, чи спричинена поява облямітки аланіту заміщенням кристалів бритоліту постмагматичним флюїдом, чи її утворення – це одна із стадій кристалізації магматичного розплаву? Перша гіпотеза допускає кристалізацію бритоліту й наступне його розчинення одним із трьох типів флюїду: а) алюмосилікатним магматичним розплавом; б) постмагматичним Al-насиченим флюїдом; в) постмагматичним Al-ненасиченим флюїдом, що розчиняв також алюмосилікат (польовий шпат, амфібол). Аланіт, з точки зору цієї гіпотези, є закономірним наслідком кристалізації продуктів розчинення. Можливість такої схеми ймовірна, однак лише в локальному масштабі, оскільки ніяких ознак суттєвого розчинення ані бритоліту, ані алюмосилікатів на контакті не спостерігається.

На нашу думку, формування аланітової облямітки довкола кристалів бритоліту – це закономірний процес розділення й кристалізації магматичного розплаву в Азовській інтрузії. Підмічено [4], що перші краплі сольового розплаву, що виділялися з магми, мали силікатно-фторидно-фосфатний склад і були збагачені на Zr, REE, Ca і Fe, що породило тісний парагенезис трьох головних мінералів руди: циркону, бритоліту й флюориту. Осадження циркону та подальша ліквідація привели до утворення крапель окремо фторидного і окремо силікатно-фосфатного (збагаченого на Fe) сольового розплаву, що стали материнськими для флюориту й бритоліту відповідно (див. рис. 5). Одночасно відбувалося розшарування силікатного розплаву на фероалюмосилікатний і лужноалюмосилікатний, з яких кристалізувалися фемічні (амфібол) і салічні (польовий шпат) мінерали. Тому склад крапель сольового ліквату дещо коливався залежно від місцезнаходження в розплаві. Дуже висока температура кристалізації й невеликий тиск сприяли входженню у структуру бритоліту багатьох домішкових елементів, в першу чергу, Fe, можливо, Ti. Зі зниженням температури така "розпушена" структура стає метастабільною. Вона не може існувати й, природно, стає рентгеноаморфною або позбавляється надлишко-

вих компонентів, скидаючи їх у дефекти. Тривимірні дефекти, що виникли у даному випадку, – це твердофазні включення у бритоліті, головню, оксиди феруму.

Навіть за умов високої температури, структура бритоліту не змогла вмістити всі компоненти сольового ліквату. Залишковий розплав, збагачений на Fe і REE, концентрувався довкола кристалів бритоліту у вигляді плівки фемічного флюїду. Менш ймовірно, що утворення такої плівки могло відбутися раніше, до кристалізації бритоліту, як наслідок подальшого розділення силікатно-фосфатного розплаву, збагаченого на Fe, на дві рідини: салічну (материнська для бритоліту) і фемічну. Оскільки тоді у місцях скупчення кристалів бритоліту (див. рис. 1, б), замість індивідуальних обляміток довкола кожного кристалу, утворилася б одна облямітка довкола бритолітового агрегату як наслідок злиття плівкових розплавів. Так чи інакше, внаслідок взаємодії залишкового фемічного розплаву "соляних крапель" з довоколишнім алюмосилікатним викристалізувалася облямітка аланіту.

Що стосується обляміток флюориту довкола бритоліту (див. рис. 4), то вони зафіксували кристалізацію крапель розплаву силікатно-фторидно-фосфатного складу, що відділилися від силікатного на ранніх стадіях утворення руди. Цю думку підтверджує той факт, що на цій ділянці ми маємо багаті циркон-бритолітові руди, тоді як на інших ділянках багаті цирконові й бритолітові руди розділені у просторі.

**Висновки.** Таким чином, у світлі викладених фактів, бритоліт і аланіт є магматичними мінералами, які кристалізувалися із крапель сольового розплаву, що ступінчасто відділявся від фероалюмосилікатного та лужноалюмосилікатного. Склад відокремленого сольового розплаву, відповідно до зміни РТ-параметрів у магматичному середовищі, змінювався від силікатно-фторидно-фосфатного до силікатно-фосфатного, надмірно збагаченого на Fe. Після кристалізації бритоліту залишився фемічний розплав, що плівкою оточував його кристали. Внаслідок взаємодії залишкового розплаву, збагаченого на Fe і REE, із довоколишнім алюмосилікатним (фероалюмосилікатним або лужноалюмосилікатним), утворилася облямітка аланіту довкола кожного кристалу бритоліту. Отже, утворення зональних кристалів бритоліту уявляється закономірним наслідком ліквацийної та кристалізаційної диференціації магматичного розплаву сієнітів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Азовское редкоземельное месторождение Приазовского мегаблока Украинского щита (геология, минералогия, геохимия, генезис, руды, комплексные критерии поисков, проблемы эксплуатации) / Е. М. Шеремет, В. С. Мельников, С. Н. Стрекозов и др. – Донецк : Ноулидж, 2012. – 374 с.

2. Азовское цирконий-редкоземельное месторождение: минералогические и генетические особенности / В. С. Мельников, Д. К. Возняк, Е. Е. Гречановская и др. // *Мінерал. журн.* – 2000. – 22, № 1. – С. 42–62.

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

4. К условиям образования Азовского цирконий-редкоземельного месторождения (по флюидным включениям в цирконе рудной зоны) / Д. К. Возняк, В. С. Мельников, В. И. Павлишин, А. А. Кульчицкая // *Геологія і магматизм докембрію Українського щита.* – К., 2000. – С. 140–142.

5. Кривдик С. Петрология щелочных пород Украинского щита / С. Кривдик, В. Ткачук. – К.: *Наук. думка*, 1990. – 401 с.

6. Кульчицкая Г. О. Флюїдні включення у флюориті з сіенітів Азовського штоку (Східне Приазов'я) / Г. О. Кульчицкая // *Записки Українського мінералогічного товариства.* – 2007. – Т. 4. – С. 49–66.

7. Кульчицкая Г. О. Включення закристалізованих розплавів у анортклазі-мікропертиті з сіенітів Азовського штоку (Український щит) / Г. О. Кульчицкая, В. С. Мельников // *Мінерал. журн.* – 2008. – 30, № 4. – С. 21–40.

8. Кульчицкая Г. О. Генетичні типи флюориту в Азовському родовищі / Г. О. Кульчицкая, В. С. Мельников // *Мінералогічний збірник.* – 2002. – 1, № 52. – С. 61–67.

9. Мельников В. С. Псевдоморфное замещение бритоолита Азовского цирконий-редкоземельного месторождения: роль метамиктности и метасоматоза / В. С. Мельников, Е. Е. Гречановская // *Мінерал. журн.* – 2010. – 32, № 3. – С. 11–21.

#### REFERENCES:

1. Sheremet E. M., Mel'nikov V. S., Strekozov S. N., Kozar N. A., Voznjak D. K., Kul'chickaja A. A. et al. (2012). The Azov Rare-Earth Deposit of the Azov Sea

Region megablock of Ukrainian Shield (geology, mineralogy, geochemistry, genesis, problems of exploitation). Donetsk: Knowledge. [in Russian].

2. Mel'nikov V. S., Voznjak D. K., Grechanovskaja E. E., Gurskij D. S., Kul'chickaja A. A., Strekozov S. N. (2000). The Azov zirconium-rare-earth Deposit: mineralogical and genetic features. *Mineralogical journal*, 22(1), 42–62. [in Russian].

3. Melnykov V. S., Hrechanovska O. Ye., Hruha V. V., Kulchytska H. O., Strekozov S. M., Khomenko V. M. (2007). Heterogeneity of britholite of the Azov stock (East Peri-Azovian region). *Mineralogical journal*, 29(3), 14–24. [in Ukrainian].

4. Voznjak D. K., Mel'nikov V. S., Pavlishin V. I., Kul'chickaja A. A. (2000). To the conditions of formation the Azov zirconium-rare-earth Deposit (by fluid inclusions in zircon of ore zones). (pp. 140–142). *Geology and Precambrian magmatism of the Ukrainian Shield.* [in Russian].

5. Krivdik S. G., Tkachuk V. I. (1990). Petrology of the alkaline rocks of the Ukrainian shield. Kyiv: *Nauk. dumka.* [in Russian].

6. Kulchytska H. O. (2007). Fluid inclusions in fluorite from syenites of Azov stock (East Peri-Azovian region). Notes of the Ukrainian mineralogical society, 4, 49–66. [in Ukrainian].

7. Kulchytska H. O., Melnykov V. S. (2008). Inclusions of crystallize melts in anorthoclase-mikroperitite from syenites of Azov stock (Ukrainian Shield). *Mineralogical journal*, 30(4), 21–40. [in Ukrainian].

8. Kulchytska H. O., Melnykov V. S. (2002). Genetic types of fluorite in Azov Deposit. *Mineralogical collection*, 1(52), 61–67. [in Ukrainian].

9. Mel'nikov V. S., Grechanovskaja E. E. (2010). Pseudomorphic replacement of britholite in Azov zirconium-rare-earth deposits: the role of metamict and metasomatism. *Mineralogical journal*, 32(3), 11–21. [in Russian].

Надійшла до редколегії 08.10.16

Kulchytska G., Dr. Sci. (Geol.), Senior Researcher

E-mail: kulchec@ukr.net, Tel.: +38(068)187-94-93

Gerasimets I., Postgraduate Student

E-mail: Herasimets@i.ua, Tel.: +38(096)642-33-28

M. P. Semenok Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
National Academy of Sciences of Ukraine

34, Acad. Palladina Ave., Kyiv – 142, 03680, Ukraine

### ZONAL CRYSTALS OF BRITHOLITE: METASOMATISM OR CRYSTALLIZATION?

*In syenites massifs of the Ukrainian Shield with rare-metal mineralization frequently zoned crystals have been observed, inner zone of which is composed of britholite and external one of allanite. More britholite is contoured by allanite in syenites of Azov stock in Peri-Azovian region, where this mineral forms commercial accumulations. Genesis of these formations was considered as a consequence of the replacement of britholite post-magmatic fluids, as a reaction product of britholite with surrounding aluminosilicates. The aim of this article is to propose another possible mechanism for the formation of zoned crystals of britholite in syenites of Azov intrusion.*

*Salient features of britholite from syenites of Azov stock are a variety of secretions, variable chemical composition, phase and structural heterogeneity. Phase heterogeneity is emphasized by a large amount of solid-phase inclusions, crystalline and amorphous, including many iron oxides. Everywhere, britholite is contoured by rims of quartz the width of which on the border with amphibole is twice wider than the same one on the verge of alkali feldspar. Fluorite is attached to allanite in rims in ore zone. The article presents a number of facts showing no reaction of interaction between britholite and allanite and the presence of such with the host aluminosilicates.*

*Attention is paid to britholite crystallization conditions. This is one of the earliest syenites minerals formed in conditions of high temperature (over 1000 °C) and pressure (500–200 MPa) due to heavy heterogenization melt caused by liquation processes. It is assumed that britholite is formed from individual drops of the salt melt silicate-fluoride-phosphate and silicate-phosphate composition, separated from the aluminosilicate melt. Fe-rich melt remains in liquates after crystallization britholite interacted with the surrounding aluminosilicate melt to form allanite.*

*The formation of zonal crystals britholite with allanite rims around appears to be a natural consequence liquation and crystallization differentiation of magmatic melt in the Azov syenites intrusion.*

**Keywords:** britholite, allanite, melt, liquation, crystallization, Azov intrusion.

Кульчицкая А., д-р геол. наук, ст. науч. сотрудник,

E-mail: kulchec@ukr.net, тел. моб.: +38(068)187-94-93,

И. Герасимец, асп.,

E-mail: Herasimets@i.ua, тел. моб.: +38(096)642-33-28,

Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. М.П. Семененко

Национальной Академии наук Украины,

просп. Акад. Палладина, 34, г. Киев-142, 03680, Украина

### ЗОНАЛЬНЫЕ КРИСТАЛЛЫ БРИТОЛИТА: МЕТАСОМАТОЗ ИЛИ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ?

*В сиенитовых массивах Украинского щита с редкометальной минерализацией неоднократно отмечались зональные кристаллы, внутренняя зона которых составлена бритоолитом, а внешняя алланитом (ортитом). Больше бритоолита, оконтуренного алланитом, в сиенитах Азовского штока, что в Приазовье, где этот минерал образует промышленные скопления. Генезис таких образований рассматривался и как следствие замещения бритоолита постмагматическими флюидами, и как продукт реакционного взаимодействия бритоолита с окружающими алюмосиликатами. Цель данной работы – предложить другой возможный механизм формирования зональных кристаллов бритоолита в сиенитах Азовской интрузии.*

*Характерными особенностями бритоолита из сиенитов Азовского штока являются разнообразие выделений, изменчивый химический состав, фазовая и структурная неоднородности. Фазовая неоднородность подчеркнута большим количеством разнообразных твердофазных включений, кристаллических и аморфных, среди которых много оксидов железа. Бритоолит повсеместно оконтурен окаймлениями алланита, ширина которых на границе с амфиболом вдвое шире, чем таковая на границе с щелочным полевым шпатом. В рудной зоне к алланиту в каймах приобщается флюорит. В статье приведен ряд фактов, свидетельствующих об отсутствии реакционного взаимодействия между бритоолитом и алланитом и наличие такового с вмещающими алюмосиликатами.*

*Привлечено внимание к условиям кристаллизации бритоолита. Это один из ранних минералов сиенитов, образовавшийся в условиях высокой температуры (более 1000 °C) и давления (500–200 МПа) на фоне сильной гетерогенизации расплава, вызванной ликвационными процессами. Предполагается, что бритоолит образовался из отдельных капель солевого расплава силикатно-фторидно-фосфатного и силикатно-фосфатного состава, отделившихся от алюмосиликатного расплава. Обогащенный Fe расплав, оставшийся в ликватах после кристаллизации бритоолита, взаимодействовал с окружающим алюмосиликатным расплавом с образованием алланита.*

*Образование зональных кристаллов бритоолита с алланитовой каймой вокруг представляется как закономерное следствие ликвационной и кристаллизационной дифференциации магматического расплава в Азовской сиенитовой интрузии.*

**Ключевые слова:** бритоолит, алланит, расплав, ликвация, кристаллизация, Азовская интрузия.