

УДК 548.5:549.6:552.3

Ганна Кульчицька, Ірина Герасимець, Володимир Бельський

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАНУ,
просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна, 01142,
office.igmr@gmail.com*

ГЕНЕЗИС СКЕЛЕТНИХ І ЗОНАЛЬНИХ ПСЕВДОМОНОКРИСТАЛІВ

Досліджено скелетоподібні утворення в сієнітах з рідкіснометалевою мінералізацією (Український щит) – футляроподібні та зональні кристали. Попри чітке огранювання, полікристальний і полімінеральний склад утворень не дає підстав трактувати їх як скелетні кристали. Скелетні псевдомонокристали особливо характерні для мінералів рідкісних земель, Ti, P, Fe – бритоліту, аланіту, чевкініту, ільменіту, апатиту, гастингситу. Щоб пояснити багатокомпонентний склад псевдомонокристалів, залучають процеси метасоматозу, тоді як він ліпше узгоджується з ліквацийною гіпотезою. Для сієнітових масивів з рідкіснометалевою мінералізацією накопичено багато фактів, які свідчать про інтенсивні ліквацийні процеси в сієнітовій магмі, зокрема, про відокремлення фемічного розплаву від салічного, сольового від силікатного. Унаслідок кристалізації крапель лікватів, збагачених сольовими або фемічними компонентами, утворилися футляроподібні й зональні багатогранники з двома і більше мінеральними фазами. Припускають, що, крім переохолодження, яке є вагомим чинником утворення скелетних кристалів, на процеси ліквациї впливали флюктуації тиску компонентів у паровій фазі.

Ключові слова: скелетні, футляроподібні, зональні кристали, мінерали рідкісних земель, сольові ліквати.

Згідно з класичним визначенням [14], скелетним називають такий кристал, у якого через значну різницю швидкості росту в різних напрямках речовина заповнила тільки частину, а не все тіло багатогранника. Термін *скелет* говорить за себе і свідчить, що його доцільно вживати для монокристалів утворень, які є ніби остовом кристала. Якщо скелетний кристал помістити у відповідні умови, то він перетвориться в один кристал. За аналогією зі скелетами тварин, виділяють внутрішні та зовнішні скелетні кристали. У внутрішніх ріст відбувається від центра в напрямі до ребер або вершин (реберні та вершинні форми). Прикладом таких кристалів є двомірні сніжинки та тривимірні лійкоподібні кристали галіту. Зовнішні скелетні кристали – це такі форми, у яких сформовані грані кристала, проте не заповнена його внутрішня частина (гранні форми). Представниками гранних форм є трубчасті й футляроподібні кристали. До скелетів також зачисляють епітаксичне наростання однієї кристалічної речовини на вершини або ребра кристала іншої. По суті, утворений у такий спосіб реберник, з одного боку, є футляром для кристала-субстрату, з іншого, – разом із субстратом є зональним двофазовим кристалом.

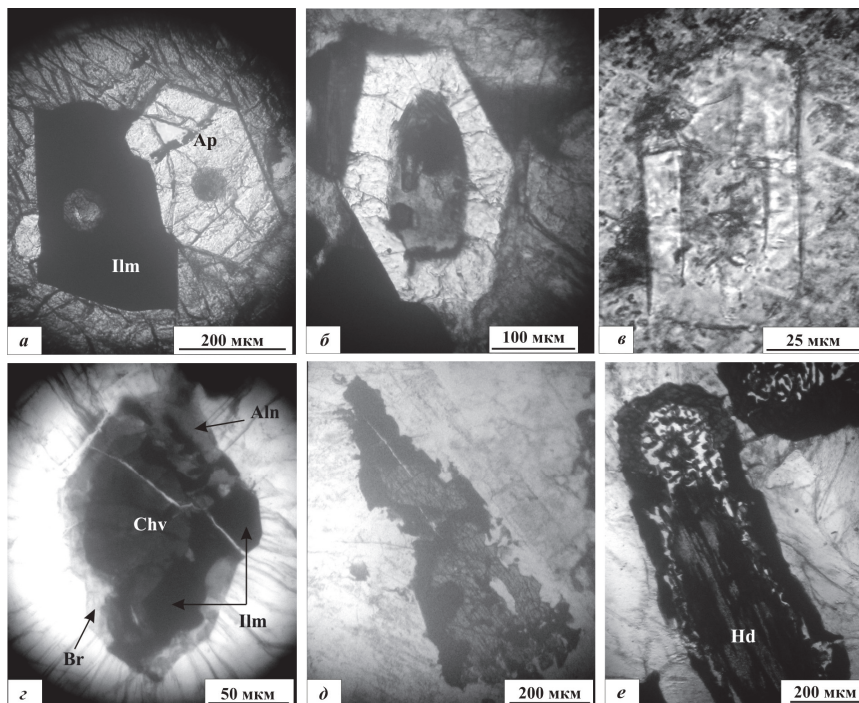
У науковій літературі скелетними часто називають будь-які кристали з остаточно не сформованими гранями або порожнистою серединою. Серед них є монокристалні реберні й вершинні форми, кристали-футляри, зональні полімінеральні утворення, дендритоподібні скелети і дендрити, пойкиліти, бласто- й метакристали. Не завжди можна довести монокристалічність деяких утворень, особливо в разі дослідження тільки полірованих зрізів. Скелетні утворення трапляються в породах різного генезису – від магматичних і метаморфічних до гідротермальних і осадових. Мінеральна гама також різноманітна. Описано скелети (у тім числі футлярподібної форми) діаманта, корунду, берилу, магнетиту, санідину, апатиту, олівіну, різних сульфідів тощо. З огляду літератури можна зробити висновок, що футлярподібні кристали найчастіше наявні серед тих утворень, кристалізація яких відбувалася у в'язкому, порівняно щільному середовищі, будь-то розплав, гель чи волога глина [4, 7, 10], однак є приклади їхньої кристалізації в газовому середовищі. Скелетні кристали арсенопіриту [3], циркону [9], баделеїту, кальцириту [12] тощо зафіксовано в породних комплексах Українського щита (УЩ). Ми виявили, що різноманітні скелетні утворення достатньо поширені в сінітах УЩ з рідкіснометалевою мінералізацією.

Кристали-футляри. Першими нашу увагу привернули кристали-футляри аніту. Це вторинні включення, які містяться в площині спайності (001) кристалів калішпату з сієнітів Азовського масиву (Приазов'я) [1]. Їхня особливість у тому, що серцевина кристалів місцями сильно відрізняється від зовнішнього оточення. Розміщення в серцевині флюориту, який перешарований з польовим шпатом, дало підстави трактувати кристали-футляри аніту як вторинні включення крапель F-Fe-силікатного розплаву, що зазнав розшарування всередині краплі.

Кристали-футляри достатньо поширені в Давидківському габро-сієнітовому масиві (крайня північно-східна частина Коростенського плутону). Це, головне, футляри ільменіту й апатиту, у яких співвідношення кристал-серцевина коливається в широких межах. Товстостінні футляри не відрізняються від кристалів з кулястим включенням закристалізованого розплаву у центрі (див. рисунок, *а*). Зі збільшенням розміру включення об'єм розплаву досягає об'єму мінералу-господаря, і він перетворюється на тонкостінний кристал-футляр (див. рисунок, *б*, *в*). Серцевину тонкостінних футлярів проблематично вважати включенням, хоча загалом її склад такий самий, що й кулястих включень, і більше залежить від місцезнаходження футляру.

Подібний перехід від товсто- до тонкостінних футлярів зафіксували для кристалів олівіну в разі загартування габро-норитового розплаву [13]. Зі зростанням ступеня переохолодження кількість тонкостінних футлярів більшає, що автори зазначеної праці пояснюють збільшенням в'язкості розплаву.

Зональні полімінеральні кристали характерні для силікатів рідкісних земель. Зокрема, видовжені зональні кристали бритоліту з широкою обляміркою аланіту відомі в сінітах Октябрського масиву (Приазов'я) [5]. Видовжені, а також заокруглені виділення бритоліту, оконтурені аланітом, нерідкісні в сінітах Азовського масиву [6]. Ширина облямірки буває досить значна, тому зональні кристали бритоліту можна трактувати як футляри аланіту з бритолітовою серцевиною. Зазначимо, що склад бритоліту нестабільний структурно (аморфні та кристалічні ділянки чергуються), хімічно (ізоморфні домішки розподілені нерівномірно) і фазово (містить включення інших мінералів). “Футляр” також неоднорідний і може містити вбудовані фрагменти флюориту, включення циркону й магнетиту.



Псевдомонокристали у сієнітах Давидківського (а–в) і Великовисківського (г–е) масивів:

а – кристали ільменіту (Ilm) й апатиту (Ap) з кулястими включеннями в центрі; б, в – апатит з великими включеннями у формі негативних кристалів; г – зональний багатогранник, складений чевкінітом (Chv), ільменітом (Ilm), бритолітом (Br) та аланітом (Aln); д – незамкнений футляр з монокристалого гастингситу (чорний) довкола монокристала геденбергіту (сірий); е – овальний футляр, сформований із двох індивідів гастингситу (чорні); геденбергітове ядро (Hd) відокремлене від стінок футляру амфібол-польовошпатовим ажуром.

Ще різноманітніші зональні кристали у Великовисківському масиві (південна частина Корсунь-Новомиргородського плутону). Тут теж трапляються зональні кристали аланіт-бритолітового складу, однак ще частіше – чітко окреслені ромбічні багатогранники з Ті-рідкісноземельним мінералом – чевкінітом. Ядро з аморфного чевкініту оконтурене бритолітом, аланітом, ільменітом у різних співвідношеннях (див. рисунок, г). Якщо аланіт домінує, то кристали чевкініту виглядають у ньому як включення або релікти. У цих же породах виявлено зональні кристали гастингсит-геденбергітового складу, які можна було б прийняти за наслідок заміщення піроксену амфіболом (див. рисунок, д), якби не той факт, що гастингситова облямівка – це один-два монокристали, які фактично утворюють “футляр” довкола геденбергіту. Футляр буває несучільний, іноді містить фрагмент чевкініту.

Кристали-футляри з ажурною серцевиною. Футляри аніту виявлено безпосередньо в сієнітах Азовського масиву. На відміну від футлярів у вигляді вторинних включень у калішпаті, їхня серцевина має інший склад. Вона заповнена субпаралельними або хаотично орієнтованими дрібними кристаликами аніту в польовошпатовій матриці, які надають серцевині ажурний вигляд. Щось подібне виявили для вкраплень циркону в альбітитах [2, 8] і магнетиту в ефузивних породах основного складу [11].

У великовисківських сієнітах футляри такого типу мають амфіболовий склад. Один–два індивіди гастингситу, часто розвернуті один щодо іншого на 90° , утворюють футляр, у центрі якого міститься монокристал геденбергіту або фаяліту. Простір між монокристалом і стінками гастингситового футляру заповнений дрібними хаотично розташованими кристаликами гастингситу в польовошпатовій матриці (див. рисунок, е). Примітно, що монокристали піроксену в центрі ажурних футлярів зазнали резорбції аж до цілковитого заміщення, тоді як кристали олівіну резорбція не зачепила. Ще один цікавий факт – закруглена (глобулярна) форма футлярів гастингситу.

Обговорення результатів. Очевидним є зв'язок наведених фактів між собою. Між кристалами-футлярами, зональними полімінеральними кристалами і футлярами з ажуром простежено переходи, хоча їхній склад може змінюватись залежно від місцезнаходження. Незважаючи на подібність до скелетних кристалів, їх не можна так називати, оскільки порушено головну умову існування скелету – монокристалність. Кількість індивідів, що утворюють футляр, більше одного, до того ж вони можуть мати різний фазовий склад. Однак повинна бути єдина причина утворення скелетоподібних форм у сієнітах з подібною металевою спеціалізацією.

Є багато гіпотез, навіть підтверджених експериментально [13, 15, 16], щодо причин скелетного росту кристалів. Так чи інакше вони зводяться до певного значення переохолодження в системі. У разі меншого переохолодження утворюються повногранні кристали, у разі більшого – волокнисті індивіди [15]. Проте цими гіпотезами не можна пояснити багатоконпонентний склад футлярів, якщо не залучати процеси метасоматозу [2, 8, 11].

І багатоконпонентний склад, і глобулярна форма описаних вище скелетних утворень добре узгоджуються з гіпотезою їхнього ліквідаційного генезису. Для Азовського розшарованого масиву накопичено достатньо фактів, які свідчать про ліквідацію сієнітової магми, з одного боку, на силікатний і сольовий розплави, з іншого, – на фемічний і саличний [1]. До одного з ранніх лікватів належить силікатно-фосфатний розплав з рідкісноземельними елементами, що став материнським для різноманітних виділень бритоліту [6]. Давидківський і Великовисківський габро-сієнітові масиви також належать до розшарованих інтрузій [5]. І хоча в цих масивах власне сієніти не розшаровані, у їхніх шліфах можна простежити низку явищ, що свідчать про локальну незмішуваність саличного й фемічного розплавів. Саме ліквідаційні процеси могли привести до формування в сієнітовій магмі відокремлених глобул розплаву (збагаченого певними компонентами), які стали родоначальними для футлярів ільменіту, гастингситу, апатиту, аланіту тощо. Подальше розшарування, утворення облямівок, реакційна взаємодія між мінералами відбувалися вже всередині глобули як суто ізохімічний процес, без привнесення компонентів ззовні. Вірогідна тільки часткова взаємодія ліквату з довколишнім розплавом, як це фіксують у випадку утворення облямівок аланіту довкола бритоліту [6].

З фізичної хімії відомо, що склад утвореного ліквату визначений *PT*-параметрами системи; їхня зміна призводить до зміни взаємної розчинності компонентів. Якщо векторна направленість *T*-параметра під час кристалізації магми прогнозована, то флуктуації *P*-параметра, зокрема, значення парціального тиску компонентів у паровій фазі, важче передбачувани. Є підстави припускати, що саме флуктуації тиску мали вирішальний вплив на ліквідаційні процеси, саме з ними пов'язане утворення зональних і футляроподібних кристалів у рідкіснометалевих сієнітах УЩ. Тим паче, що у більш високобаричних за деякими показниками сієнітах Яструбецького масиву скелетоподібних утворень

не виявлено, хоча масив належить до розшарованих і його вважають петрологічним аналогом Азовського [5].

Висновок. Виявлені в сієнітах УЩ зональні та футлярні утворення є полімінеральними і полікристалльними. Вони сформувалися внаслідок ізохімічної кристалізації ліквідаційних глобул розплаву. Вірогідно, флуктуації парціального тиску компонентів у паровій фазі мали не менший вплив на утворення футлярноподібних і зональних полікристалів, ніж процеси охолодження.

Автори вдячні С. Кривдіку за надані для дослідження шліфи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Азовское редкоземельное месторождение Приазовского мегаблока Украинского щита / Е. М. Шеремет, В. С. Мельников, С. Ф. Стрекозов и др. – Донецк : Ноулидж, 2012. – 374 с.
2. Дипірамідальні кристали циркону із лужних порід Приазов'я / В. М. Квасниця, О. А. Вишневський, І. В. Квасниця, І. В. Гурненко // Мінерал. журн. – 2016. – Т. 38, № 3. – С. 9–23.
3. *Иванов А. В.* Морфологические и химические особенности арсенопирита Сергеевского месторождения золота / А. В. Иванов, В. С. Монахов, М. Ю. Дышук // Минерал. журн. – 2001. – Т. 23, № 4. – С. 116–122.
4. *Кормилицын В. С.* Редкий случай совместного образования скелетных и метаколлоидных агрегатов галенита и сфалерита / В. С. Кормилицын // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. – 1966. – Ч. 95, вып. 2. – С. 210–214.
5. *Кривдик С. Г.* Петрология щелочных пород Украинского щита / С. Г. Кривдик, В. И. Ткачук. – Киев : Наук. думка, 1990. – 407 с.
6. *Кульчицька Г.* Зональні кристали бритоліту: метасоматоз чи кристалізація? / Г. Кульчицька, І. Герасимець // Вісн. КНУ імені Тараса Шевченка. Сер. Геологія. – 2016. – Вип. 4 (75). – С. 35–39.
7. *Мокиевский В. А.* Скелетный рост кристаллов в вязкой среде / В. А. Мокиевский, С. Н. Семенюк // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. – 1952. – Ч. 81, вып. 2. – С. 100–108.
8. *Руденко С. А.* Скелетный рост кристаллов в породах и рудах / С. А. Руденко // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. – 1966. – Ч. 95, вып. 2. – С. 158–168.
9. *Степанюк Л. М.* Циркон Українського щита. Мінералогія та радіогеохронологія / Л. М. Степанюк, О. М. Пономаренко // Записки Укр. мінерал. т-ва. – 2011. – Т. 8. – С. 196–199.
10. Формы вхождения золота в пирит / В. И. Рождествина, Г. И. Неронский, С. И. Бородавкин, Н. В. Федорова // Федоровская сессия : междунар. науч. конф. : тез. докл. – СПб : Горный ун-т, 2008. – С. 92–95.
11. *Центер И. Я.* О преобразовании магнетита в процессе низкотемпературного изменения вулканических пород / И. Я. Центер, Л. И. Ильина, В. И. Куранова // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. – 1986. – Ч. 115, вып. 1. – С. 34–49.
12. *Цымбал С. Н.* Бадделеит и кальцитрит из матрикса кимберлитов Кировоградского мегаблока Украинского щита / С. Н. Цымбал, Ю. С. Цымбал, В. Б. Соболев // Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма : школа “Щелочной магматизм Земли” : 31 междунар. конф. : тезисы. – М., 2014. – С. 86–88.

13. *Челищев Н. Ф.* Об эволюции формы оливина в процессе кристаллизации расплава оливинового габбро-норита в экспериментальных условиях / Н. Ф. Челищев // Онтогенетические методы изучения минералов. – М. : Наука, 1970. – С. 124–129.
14. *Шафрановский И. И.* Условия роста, геометрия и симметрия скелетных кристаллов / И. И. Шафрановский, В. А. Мокиевский // Зап. Всесоюз. минерал. об-ва. – 1956. – Ч. 85, вып. 2. – С. 172–186.
15. *Corrigan G. M.* The crystal morphology of plagioclase feldspar produced during isothermal supercooling and constant rate cooling experiments / G. M. Corrigan // Mineral. Mag. – 1982. – Vol. 46. – P. 433–439.
16. *Longren G.* An experimental study of plagioclase crystal morphology: isothermal crystallization / G. Longren // Amer. J. Sci. – 1974. – N 274. – P. 248–273.

*Стаття: надійшла до редакції 23.07.2018
прийнята до друку 06.08.2018*

Hanna Kulchytska, Iryna Herasymets, Volodymyr Belskyi

*M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU,
34, Acad. Palladin Av., Kyiv, Ukraine, 03142,
office.igmr@gmail.com*

GENESIS OF SKELETAL AND ZONED PSEUDOMONOCRYSTALS

We investigated skeletal formations in the syenites with rare-metal mineralization (Ukrainian Shield) – case-shaped and zoned crystals. Despite a clear cut, polycrystalline and polymineral composition of the formations does not allow treating them as skeletal crystals. Skeletal pseudomonocrystals are especially characteristic for minerals of rare-earth elements, Ti, P, Fe, namely britholite, allanite, chevkinite, ilmenite, apatite, hastingsite.

To explain the multicomponent composition of pseudomonocrystals the metasomatism processes are attracted whereas it agrees better with the segregation hypothesis. There are many facts for syenite massifs with rare-metal mineralization that testify to intensive segregation processes in syenite magma in particular the separation of the femic melt from salic, salt from silicate. Due to the crystallization of the segregation drops enriched with salt or femic components case-shaped and zoned polyhedra with two or more mineral phases were formed.

It is assumed, that in addition to supercooling, which is a significant factor in the formation of skeletal crystals, the pressure fluctuations of the components in the vapour phase had no less influence on the processes of segregation.

Key words: skeletal, case-shaped and zoned crystals, minerals of rare-earth elements, salt liquates.