

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ СОЕДИНЕНИЙ СО  
СТРУКТУРОЙ БЕРИЛЛА В СУХИХ СРЕДАХ

Демина Т.В. ([deminat@igc.irk.ru](mailto:deminat@igc.irk.ru)), Михайлов М.А. ([mikmik@igc.irk.ru](mailto:mikmik@igc.irk.ru))  
Восточно-Сибирское отделение. Институт геохимии СО РАН

THE FEATURES OF FORMATION OF BERYL STRUCTURE  
COMPOUNDS IN DRY MEDIA

Demina T.V. ([deminat@igc.irk.ru](mailto:deminat@igc.irk.ru)), Mikhailov M.A. ([mikmik@igc.irk.ru](mailto:mikmik@igc.irk.ru))  
East-Siberian branch. Institute of geochemistry SB RAS

**В раствор-расплавных системах « $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$  (*K*) или  $Al_2Be_3Si_6O_{18}$  (*B*) -  $Mg, Ca/Cl, F$  – добавка (*Д*)», *Д* – соединения  $Fe, Cr, Ti, V, Sc, Mn, Na, K, Rb, Cs, B, Cu$  путем медленного охлаждения осуществлена сокристаллизация *K, И* (индиалита), *Б* и *БИ* ( $Mg_2BeAl_2Si_6O_{18}$ ). Скорости роста индивидов соединений со структурой берилла (ССБ) – 0.003-0.03 (*БИ* – 0.02) мм/час. Центр кристаллов ССБ насыщен включениями растворителя. Индивиды *Б* и *БИ* – гексагонального, а *К* – псевдогексагонального габитуса (до 5-8 мм), а *И* формирует пирамиды роста граней базопинакоида {001} в сростках с *К* или пирамиды роста призмы {hk0} в пустотелых кристаллах. Облик индивидов зависит от типа примеси. Так, *Sc* вызывает удлиненность индивидов *Sc-Б*, *Sc-БИ* и *Sc-К*, а *Ti* – уплощение *Ti-К*, изометричность *Ti-БИ*, призматичность *Ti-Б*. В длиннопризматических *Sc-* и *Be-К* проявляются 6 граней псевдопризмы I, а в уплощенных по оси *c* *Ti-* и *Cu-К*. – 8-12 граней псевдопризм I и II положения. В анатомии индивидов ССБ проявляются секториальность, зональность, оптическая аномальность (ОА), двойникование (секторальное у *К*, полисинтетическое у *К* и *Б* и микроклиновое у *БИ*), иногда угнетенный рост и различные типы сростков [1]. Пирамиды роста базопинакоида и призмы различаются между собой по содержанию видообразующих и примесных элементов – эффект грани [2], по физическим свойствам (параметрам э.я., углу  $2V$ , двупреломлению, микротвердости) и по характеру дефектности (в базопинакоиде – блочность, а в призме – двойникование). Развитие ОА прослежено от ее зарождения до расщепления индивида. ОА – следствие внутреннего напряжения, вызванное межпирамидальной гетерометрией. Индивид *К-И* диссимметричен на уровне пирамид роста граней и на более локальном, а *БИ* и *Б* – лишь на локальном уровне. Пустотелые и расщепленные индивиды – результат угнетенного роста. В *К* и *Б* расщепляются пирамиды роста базопинакоида. Новообразования расщепленного *К* повторно расщепляются, образуя веерообразные индивиды и сферолиты,**

новообразования *Б* растут монокристаллами. У *БИ* расщепляются не только грани пинакоида, но и призмы (паркетчатость).

Из расплава получен лишь конгруэнтно плавящийся *БИ* ( $T_{пл} \text{Mg}_2\text{BeAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{18} = 1360^\circ\text{C}$ ;  $T_{пл} \text{Mg}_{2.22}\text{Be}_{1.11}\text{Al}_{2.22}\text{Si}_{5.67}\text{O}_{18} = 1350^\circ\text{C}$ ). Спонтанная кристаллизация расплава  $\text{Mg}_2\text{BeAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$  (высокотемпературный микроскоп МНО-2) показала: 1) при малой степени и времени перегрева расплава ( $T_{ов.}=40^\circ$ ,  $\tau = 0,5$ ) и  $V_{охл.} = 20^\circ/\text{час}$  до  $1365^\circ$  получено стекло с 1% *БИ*; 2) при увеличении  $T_{ов.}$  ( $120^\circ$ ),  $\tau$  (1 ч) и  $V_{охл.} = 60^\circ/\text{час}$  до  $900^\circ$  наряду с *БИ* (97 %) отмечен муллит (3 %), а при длительном  $T_{ов.}=10^\circ$  – 5 % форстерита+энстатита+кристобалита, ФСП (знаки). На затравку *К* из расплавов  $\text{Mg}_2\text{BeAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$  ( $T_{ов.}=40^\circ$ ,  $\tau = 0,5$  ч,  $V_{охл.} = 60^\circ/\text{час}$  до  $1350^\circ$ ) и  $\text{Mg}_{2.22}\text{Be}_{1.11}\text{Al}_{2.22}\text{Si}_{5.67}\text{O}_{18}$  ( $T_{ов.}=40^\circ$ ,  $\tau = 0,25$  ч,  $V_{охл.} = 70^\circ/\text{час}$  до  $1340^\circ$ ) нарастают слои *БИ* со скоростями роста 0.08 и 0.46 мм/час, соответственно. Причина появления муллита, форстерита и ФСП вскрыта методом проявления структуры расплава ( $\Delta T^\circ$  на границе расплав-кристалл =  $80\text{-}180^\circ\text{C}/\text{см}$ ). Установлено, что при перегреве структура *БИ* (с  $\text{MgO}_6$  и  $\text{AlO}_4$ ) постепенно разрушается с образованием метастабильных ассоциаций атомов. Так, при  $T_{ов} = 20^\circ\text{C}$  образуются сапфирин (с  $\text{MgO}_6$  и  $\text{AlO}_6$ ) и форстерит (с  $\text{MgO}_6$ ), а из ячеистых ликватов (рис. в) фазы со структурой петалита, ФСП (с  $\text{MgO}_4$  и  $\text{AlO}_4$ ), при  $T_{ов.}=150^\circ\text{C}$  – формируются сапфирин, а из столбчатых ликватов – сначала из «светлого» (рис. з), потом из «темного» – ФСП, при  $T_{ов.}=350^\circ\text{C}$  – Ве-муллит (с  $\text{AlO}_6$  и  $\text{AlO}_4$ ), затем – из капельного ликвата (рис. д) – ФСП.

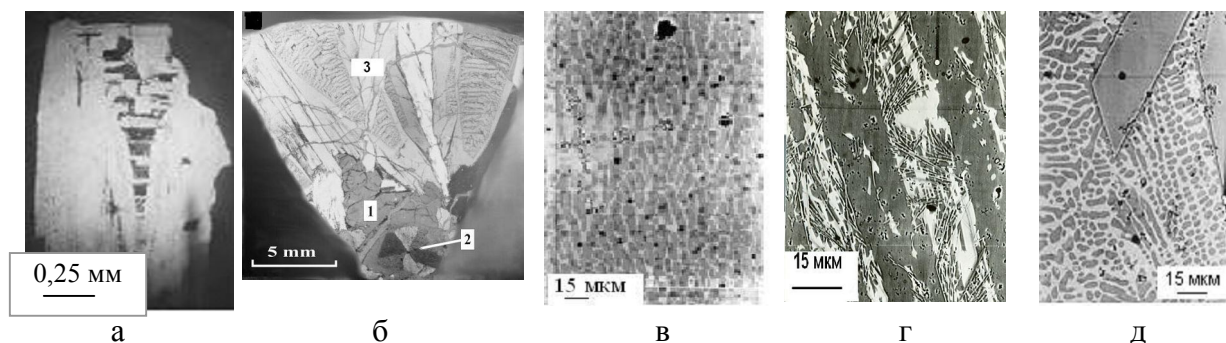


Рис. Сечения равновесных (а, б) и метастабильных (в-д) образований: *а* – индивид кордиерит-индиалита (из раствора в расплаве): угнетенный рост грани базопинакоида, разрез  $\parallel$  оси *c*; *б* - *БИ* (1, 3), образованный из расплава и затравка *К* (2); *в* – ячеистые ликваты,  $\Delta T^{ов} = 20^\circ\text{C}$ ; *з* - спутанно-волокнистые ФСП в материнском ликвате I (светлое), ликват II (темное),  $\Delta T^{ов.}=150^\circ\text{C}$ ; *д* - крупные кристаллы Ве-муллита (серое) в капельном ликвате,  $\Delta T^{ов} = 350^\circ\text{C}$ .

Методом Штебера получены крупные *БИ* с двумя типами зарождения (рис. б): *БИ*(1), кооксиально выросший на затравку *К* (2) и секторальный *БИ* (3), зародившийся гетерофазно. В *БИ* (1) проявилось двойникование типа микроклиновой решетки, в *БИ* (3) – резкое отличие пирамид роста пинакоида и призмы по степени совершенства. Здесь эффект грани проявился в различии составов призмы ( $\text{Mg}_{1.81}\text{Al}_{0.18}\text{Fe}_{0.01}$ ) ( $\text{Be}_{1.09}\text{Al}_{2.08}\text{Si}_{5.84}$ )  $\text{O}_{18}\text{Na}_{0.02}$  и пинакоида

$(\text{Mg}_{1.77}\text{Al}_{0.23})(\text{Be}_{1.00}\text{Al}_{2.24}\text{Si}_{5.76})\text{O}_{18}\text{Na}_{0.02}$ . Скорость роста пинакоида БИ (3) составила 0,4 мм/час, тогда как призмы ~ 0,08 мм/час.

**Итак**, представление о модульности строения сухих сред, разработанное на основе *метода проявления структуры расплавов*, позволило: 1) связать проявление ассоциаций метастабильных (муллит, форстерит, ФСП) фаз и равновесной БИ (с реликтами метастабильных фаз) с эволюцией КЧ *Mg* и *Al*, вызывающей перестройку структуры расплава; 2) рассмотреть эффект грани как проявление трех процессов: самоорганизации атомов в среде в «строительные модули» двух типов, упорядочения потоков этих модулей в среде (в соответствии с предпочтением к граням призмы или пинакоида зародыша), ориентации этих блоков и избирательности их извлечения гранями-подложками с разными «узорами». Эффект грани, вызвавший секториальность индивидов, показал, что двумерный изоморфизм [3] проявился в раствор расплавной среде при  $V_{\text{роста}}=0.003-0.03$  мм/час (для БИ – 0.02 мм/час), а в расплаве (для БИ) – при 0,08-0,40 мм/час.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-05-00831).

1. Демина Т.В., Михайлов М.А. // Записки ВМО. 2001. № 2. С. 114-123
2. Михайлов М.А. и др. // Геология и геофизика. 2007. № 11. С. 1189-1200;
3. Чернов А.А. Современная кристаллография. Т.3. М.: Наука, 1980. С. 7-230.