

- Никель Е. Х. Твердые растворы в номенклатуре минералов // ЗВМО. 1992. Вып. 4. С. 28.
- Печерская С. П., Михайлов М. А., Демина Т. В., Богданова Л. А., Белозерова О. Ю. Симметрия и упорядочение соединений со структурой берилла в обогащенной магнием части системы берилловый индиалит—кордиерит—берилл // Кристаллография. 2003. Т. 48. № 3. С. 407—413.
- Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод. М.: Недра, 1965. 306 с.
- Смолин Ю. И., Шепелев Ю. Ф., Михайлов М. А., Демина Т. В., Богданова Л. А. Структура тетразированного бериллиевого индиалита // Кристаллография. 1999. Т. 44. № 3. С. 454—457.
- Солнцев В. П., Демина Т. В., Михайлов М. А. Изоморфизм некоторых ионов группы ванадия в соединениях со структурой берилла по данным ЭПР // Рентгенография и молекулярная спектроскопия минералов. Новосибирск: Наука, 1985. С. 121—128.
- Якубович О. В., Масса В., Пеков И. В., Гавриленко П. Г., Чуканов Н. В. Кристаллическая структура Na, Ca, Be-кордиерита и кристаллохимические закономерности в ряду кордиерит—секанинаит // Кристаллография. 2010. Т. 55. № 4. С. 741—748.
- Borchert W., Gugel E. Petzenhauer-I. Untersuchungen im System Beryl—Indialith // N. Jb. Mineral. Mh. 1970. P. 385—388.
- Holscher A., Schreyer W. A new synthetic hexagonal BeMg-cordierite, $Mg_2[Al_2BeSi_6O_{18}]$, and its relationship to Mg-cordierite // Eur. J. Miner. 1989. Vol. 1. P. 21—37.
- Myashiro A. Cordierite-indialite relations // Amer. J. Sci. 1957. Vol. 255. N 1. P. 43—82.

Поступила в редакцию
6 марта 2011 г.

УДК 548:549.646.1:553.064.1(477.42)

ЗВМО, № 4, 2011
Zapiski RMO, N 4, 2011

© А. П. ВОВК,* И. М. НАУМКО**

СВЯЗЬ ПЦС-ВЕКТОРОВ С КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИЕЙ БЕРИЛЛА ИЗ КАМЕРНЫХ ПЕГМАТИТОВ ВОЛЫНИ (УКРАИНА)

* Восточноевропейский национальный университет имени Леси Украинки
пр. Воли, 13, 43025 Луцк, Украина; e-mail: geologygeochemistry@gmail.com

**Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины
ул. Научная, 3а, 79060 Львов, Украина; e-mail: igggk@mail.lviv.ua

Приводится краткий обзор структурных подходов для определения морфологически важных форм на кристаллах берилла. Показаны результаты анализа кристаллической структуры берилла. Определены ПЦС-векторы и F -, S -, K -грани по П. Харману и В. Г. Пердоку. Рассчитана величина d_{hkl} и определены истинные F -грани. Полученные результаты сравниваются с равновесной формой кристалла по методу Доннея-Харкера и морфологической важностью простых форм, согласно их симметрии, по И. И. Шафрановскому. Проводится сопоставление теоретических расчетов с морфологией берилла из камерных пегматитов Волыни.

Ключевые слова: берилл, кристалломорфология, ПЦС-векторы, камерные пегматиты Волыни.

A. P. VOVK, I. M. NAUMKO. INFLUENCE OF PBC-VECTORS ON THE CRYSTAL MORPHOLOGY OF BERYL FROM VOLYN CHAMBER PEGMATITES (UKRAINE)

Review of structural approach allows determining the morphologically important forms on beryl crystals. Analysis of the beryl crystalline structure has revealed PBC-vectors and F -, S -, K -faces according to P. Hartman and W. G. Perdok. Values of d_{hkl} were calculated, and genuine F -faces have been determined. Obtained results are compared with the equilibrium shape of the crystal, according to the Donney-Harker method, and the morphological importance of simple forms, according to symmetry, after I.I. Shafranovsky. The theoretical calculations are compared with the real morphology of beryl from Volyn chamber pegmatites.

Key words: beryl, crystal morphology, PBC-vectors, chamber pegmatites, Volyn.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, внешняя форма кристаллов предопределена их кристаллической структурой и влиянием окружающей среды. Влияние структуры играет решающую роль в огранке кристалла, в то время как условия образования имеют менее важное значение. Однако не следует забывать, что сама кристаллическая структура ведет себя по-разному в различных условиях (Шафрановский, 1957). Если искажение облика и габитуса кристаллов, неоднородное развитие граней той же простой формы, разнообразные фигуры роста могут служить индикаторами условий образования минералов (Шафрановский, 1968), то появление нетипичных простых форм также может нести ценную генетическую информацию. Поэтому заданием структурных подходов является определение морфологически важных граней, которые будут проявляться в любых условиях.

Для исследования влияния внутренней структуры на морфологию кристаллов использовались разнообразные подходы: закон Браве (Bravais, 1851) и его расширение по И. Д. Х. Доннею и Д. Харкеру (Donnay, Harker, 1937), рентгенометрический способ определения морфологически важных граней на кристаллах (Михеев, Шафрановский, 1949), влияние цепочек сильной связи (Хартман, 1967), влияние симметрии грани (Шафрановский, 1985) и др.

У каждого метода есть свои преимущества и недостатки. Так, определение ретикулярной плотности с учетом расширения И. Д. Х. Доннея и Д. Харкера (Donnay, Harker, 1937) является достаточно простым в применении, но рассматривает только геометрические единицы в кристаллической структуре, поэтому морфологическая важность граней кристаллов, которые принадлежат к одной пространственной группе, будет одинакова, тогда как на практике часто наблюдаются заметные отличия между морфологией таких минералов (Шафрановский, 1957). Что касается рентгенометрического способа определения морфологически важных граней на кристаллах, то он часто дает похожие результаты, так как наблюдается четкая корреляция между ретикулярной плотностью и расстоянием между плоскими сетками d_{hkl} . Например, для топаза критерий корреляции Пирсона между этими величинами составляет 84 % (Вовк, Наумко, 2013а), а для берилла — 94 %. Методика определения морфологически важных граней по величине их симметрии также является простой в применении, поскольку не требует учитывания, ни из каких именно элементов складывается структура кристалла, ни характера связи между структурными единицами, но на практике дает неплохие результаты. Необходимо помнить, что не может быть «теоретической» и «практической» последовательности морфологической важности граней кристаллов, так как последняя может значительно колебаться для одного и того же минерала из разных месторождений и даже разных генераций минерала из одного месторождения. Задача вышеуказанных методик определить именно те грани, которые будут проявляться на кристаллах при любых условиях и не могут служить индикаторами условий образования.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами анализировалась структура берилла с точки зрения ПЦС-векторов по П. Хартману и В.Г. Пердоку (Хартман, 1967), полученные результаты сравнивались с равновесными формами по И. Д. Х. Доннею и Д. Харкеру

(Donnay, Harker, 1937) и морфологически важными гранями, согласно симметрии по И.И. Шафрановскому (1985), исследовалась корреляция теоретически рассчитанных морфологически важных граней и кристалломорфологии вольтинского берилла из камерных пегматитов Вольты. Определение цепочек сильной связи в сложных кристаллических структурах является трудным процессом и поэтому этот вопрос для берилла до сих пор не рассматривался. Построенная нами проекция структуры берилла на грани призмы $\{11\bar{2}0\}$ публикуется впервые.

В отличие от вышеуказанных подходов (Donnay, Harker, 1937, Шафрановский, 1985) определение цепочек сильной связи рассматривает конкретную структуру минерала. Сущность метода заключается в определении перспективных направлений, которые предопределяют развитие морфологически важных зон. Считается, что грани, параллельные двум и больше цепочкам сильной связи, растут слоями и называются *F*-гранями (от англ. flat — плоский), грани, параллельные одной цепочке, или ПЦС-вектору, называются *S*-гранями (от англ. stepped — ступенчатые), а не параллельные ни одной цепочке — *K*-гранями (от англ. kinked — шероховатые). Важнейшими являются *F*-грани, а наименее важными — *K*-грани (Хартман, 1967).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структура берилла характеризуется высокой симметрией и нетипична для гексагональной сингонии параметрами ячейки. Пространственная группа берилла такова: $D_{26h} = P6/mcc$, $a = 9.19 \text{ \AA}$, $c = 9.19 \text{ \AA}$, $Z = 2$ (Брэгг, Кларк, Булл, 1967).

Для определения *F*-граней на кристаллах берилла нами были построены проекции на грани $\{0001\}$ и $\{11\bar{2}0\}$. На рис. 1 изображена проекция структуры берилла на грань пинакоида $\{0001\}$. ПЦС-вектор, который параллелен направлению a , в структуре элементарной ячейки выделен жирным. Исходя из симметрии кристаллов, таких направлений существует шесть: $[21\bar{3}0]$, $[\bar{1}101]$, $[\bar{1}010]$, $[01\bar{1}0]$, $[12\bar{3}0]$, $[11\bar{2}0]$ (на рисунке показано только одно из них, чтобы не загромождать чертеж). Цепочки сильной связи, как видно на рисунке, соединены в пределах d_{1010} , потому эта призма является истинной *F*-гранью. В то же время в пределах d_{1120} ПЦС-векторы не соединены, потому призма $\{11\bar{2}0\}$ является *S*-гранью.

На рис. 2 изображена проекция структуры берилла на грань призмы $\{11\bar{2}0\}$. На ней наблюдаются ПЦС-векторы, которые отвечают направлениям $[0001]$, $[21\bar{3}0]$, $[\bar{1}101]$. Направление $[0001]$ в структуре берилла — единичное, а направления, симметричные $[21\bar{3}0]$ и $[\bar{1}101]$, не нанесены, чтобы не усложнять восприятие. Как следует из рисунка, цепочки сильной связи соединены между собой в пределах d_{0001} . Это значит, что пинакоид $\{0001\}$ является истинной *F*-гранью. *F*-характер призмы $\{10\bar{1}0\}$ виден на предыдущем рисунке. Зигзагообразный характер ПЦС-вектора $[\bar{1}101]$ и небольшие d_{hkl} граней, которые ему параллельны, свидетельствуют о том, что он не образует истинной *F*-грани. Таким образом, истинными *F*-гранями являются только пинакоид $\{0001\}$ и призма $\{10\bar{1}0\}$.

На рис. 3 изображена гномостереографическая проекция поясов, отвечающих ПЦС, и теоретически возможным *F*-граням. Как следует из рис. 1 и 2, цепочкам сильной связи соответствуют направления: $[0001]$ (единичное).

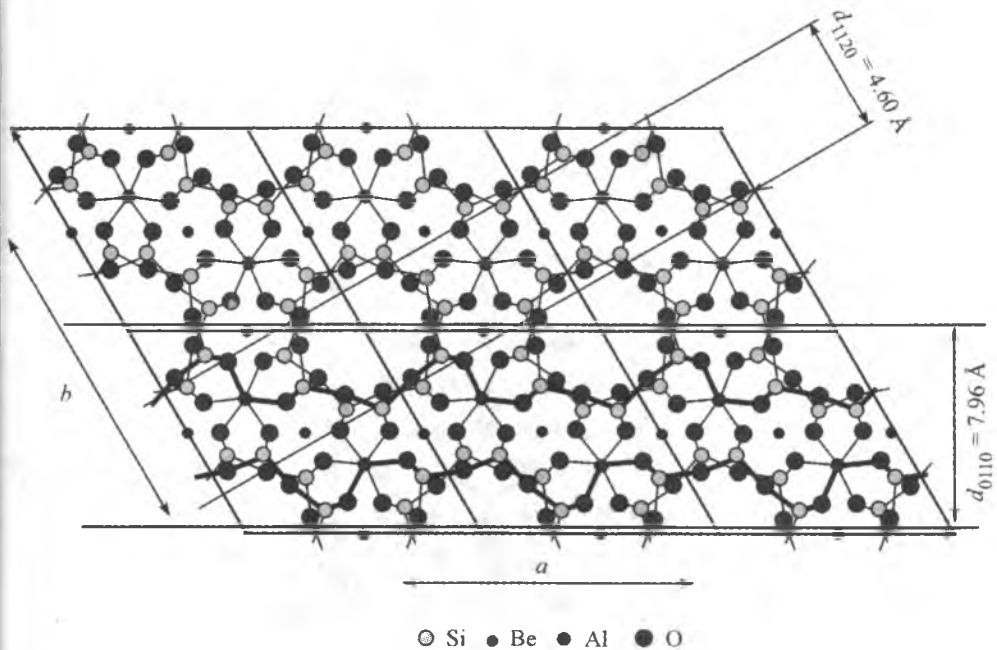


Рис. 1. Проекция структуры берилла на грань пинакоида $\{0001\}$.

Цепочки сильной связи выделены жирным. Высоты атомов указаны в % от параметров элементарной ячейки берилла. Чтобы не загромождать чертеж, показаны не все высоты атомов. Не показанные высоты выводятся при помощи трансляции.

Fig. 1. Projection of beryl structure on the pinacoid face $\{0001\}$. Bold lines show chains of strong bonds.

$[21\bar{3}0]$ (и 5 симметричных), а также $[\bar{1}101]$ (и 11 симметричных). Теоретические F -грани (параллельные двум и более ПЦС) не имеют такого значения как истинные, но их появление на реальных кристаллах более вероятно, чем наличие K -граней. Теоретическими F -гранями являются пинакоид $\{0001\}$, гексагональные призмы $\{10\bar{1}0\}$ и $\{11\bar{2}0\}$, гексагональные бипирамиды $\{11\bar{2}2\}$, $\{11\bar{2}3\}$, $\{11\bar{2}4\}$, $\{01\bar{1}2\}$, дигексагональные бипирамиды $\{31\bar{4}2\}$, $\{21\bar{3}4\}$. Из них, как было указано выше, истинными F -гранями являются только $\{0001\}$ и $\{10\bar{1}0\}$.

Сравнительная характеристика морфологической важности граней кристаллов берилла из камерных пегматитов Волыни, согласно структурным методам и гониометрическим исследованиям, приведена в таблице.

Результаты теоретических расчетов морфологически важных граней можно сравнить с кристаллами берилла из камерных пегматитов Волыни (рис. 4). На многогранниках Волынских бериллов из занорышей нами обнаружены следующие простые формы: $\{0001\}$, $\{10\bar{1}0\}$, $\{11\bar{2}0\}$, $\{10\bar{1}1\}$, $\{11\bar{2}1\}$. Индивиды из зон выщелачивания отличаются меньшими размерами, подчиненным значением призмы $\{11\bar{2}0\}$ и в некоторых случаях наличием бипирамиды $\{21\bar{3}1\}$ (Вовк, Наумко, 2013б).

Равновесные формы кристаллов, согласно разным структурным подходам, приведены на рис. 5. Отношение длины многогранника по оси z к ширине (оси x , y , u) выбрано произвольно, так как невозможно математически точно определить, какая из двух истинных F -граней (рис. 5, а) важнее. Удлиненность кристалла, форма которого отвечает комплексному структурному

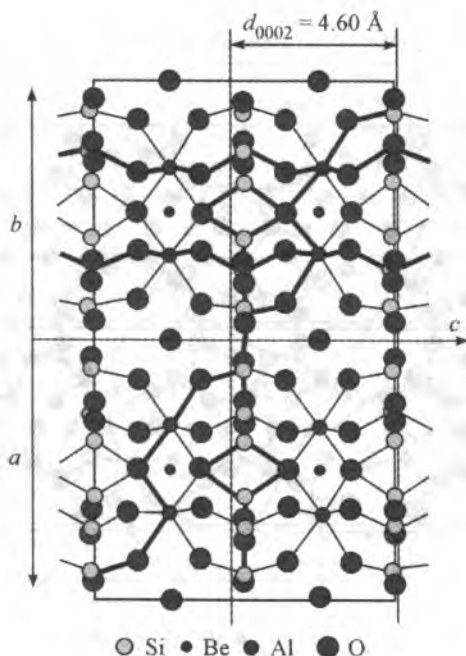


Рис. 2. Проекция структуры берилла на грань призмы $\{11\bar{2}0\}$.

Цепочки сильной связи выделены *жирным*. Высоты атомов указаны в % от параметров элементарной ячейки берилла. Чтобы не загромождать чертеж, показаны не все высоты атомов. Не показанные высоты выводятся при помощи трансляции и элементов симметрии берилла.

Fig. 2. Projection of beryl structure on the prism face $\{11\bar{2}0\}$. Bold lines show chains of strong bonds.

подходу, учитывающему ретикулярную плотность, симметрию грани ПЦС-векторы (рис. 5, б), также произвольна. Равновесная форма И. Д. Х. Доннею и Д. Харкеру (рис. 5, в) является более точной, так как расстояния от центра кристалла к грани прямо пропорциональны площади элементарного параллелограмма. На рис. 5, г индивид берилла близок к табличатому облику, потому что величина симметрии пинакоида больше величины симметрии призмы.

Из сравнения рисунков 4 и 5 следует, что ни один структурный метод определения равновесной формы не соответствует реальной картине морфологии кристалла по конкретному месторождению, что подчеркивает важность влияния условий образования на габитус многогранников.

ВЫВОДЫ

1. Морфология индивидов берилла из гранитных пегматитов Волыни в значительной степени определяется их кристаллической структурой.

2. При расчете ретикулярной плотности учитываются только геометрические единицы, потому последовательность по Доннею-Харкеру не всегда отвечает статистической морфологической важности граней берилла.

3. Важнейшими гранями согласно ретикулярной плотности являются $\{10\bar{1}0\}$, $\{11\bar{2}0\}$, $\{0001\}$, $\{10\bar{1}1\}$, $\{10\bar{1}2\}$.

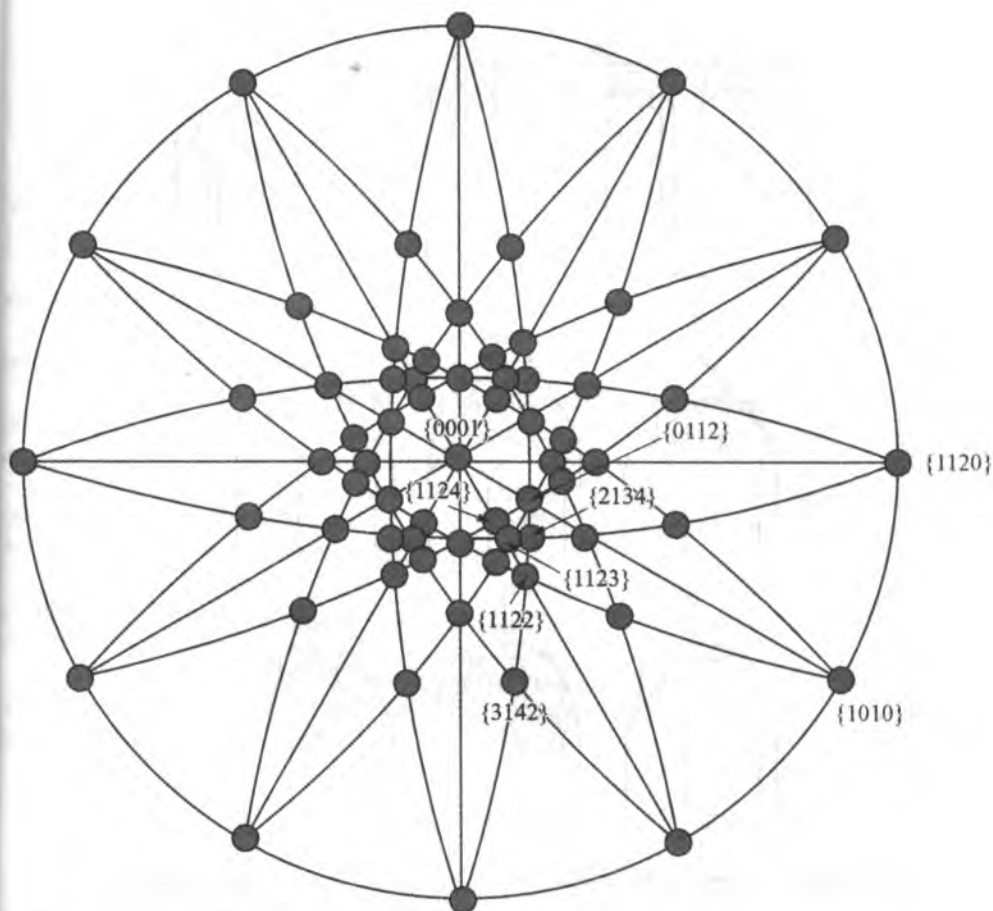


Рис. 3. Теоретически возможные F -грани берилла.

Fig. 3. Theoretically possible F -faces on beryl.

Морфологическая важность граней кристаллов берилла из камерных пегматитов Волыни согласно структурным методам и гониометрическим исследованиям

Morphological importance of faces of the beryl crystals from Volyn chamber pegmatites according to structural methods and goniometric investigations

Источник

1	2	3	4	5	6
$10\bar{1}0$	0001	$10\bar{1}0$	0001	0001	$10\bar{1}0$
0001	1120	1120	$10\bar{1}0$	$10\bar{1}0$	1120
1122	1012	0001		1120	0001
$10\bar{1}2$	$10\bar{1}0$	$10\bar{1}2$		$\{hk\bar{i}o\}$	$11\bar{2}1$
$11\bar{2}0$	1122			$\{hh2hl\}$	$10\bar{1}1$
	$10\bar{1}1$			$\{h0\bar{h}l\}$	

Примечание. 1 — статистические данные из ранее опубликованной работы (Шафрановский, 1957), 2 — данные согласно «Рентгенометрическому определителю минералов» по (Шафрановский, 1957), 3 — данные согласно Доннею-Харкеру (по: Шафрановский, 1957), 4 — истинные F -грани, 5 — морфологическая важность согласно симметрии граней (Шафрановский, 1985), 6 — морфологическая важность граней на берилле из камерных пегматитов Волыни (Вовк, Наулко, 20136).

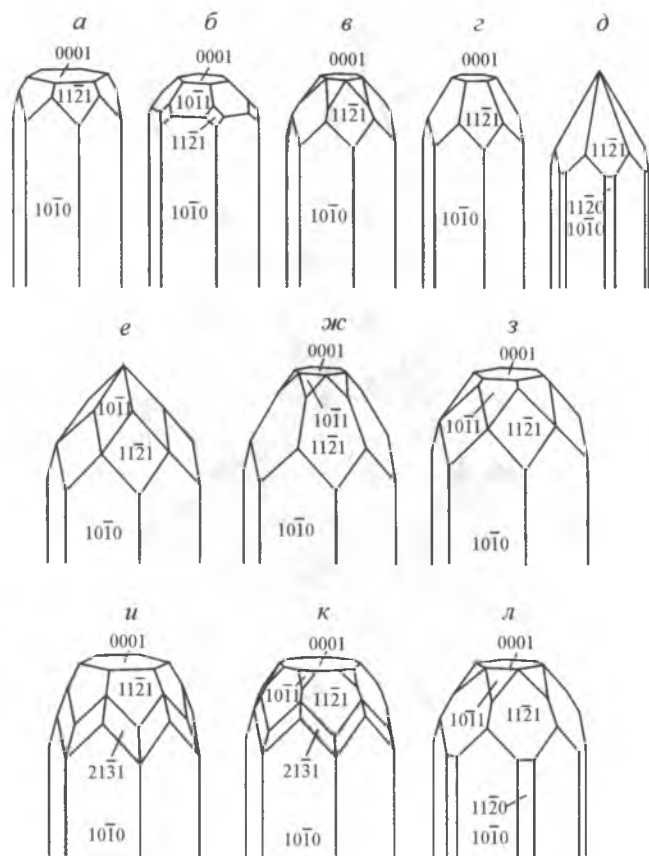


Рис. 4. Морфология берилла из камерных пегматитов Волыни (по: Вовк, Наумко, 20136).

a—д — кристаллы из занорышей, *e—л* — индивиды из зоны выщелачивания.

Fig. 4. Morphology of beryl from Volyn chamber pegmatites, according to (Vovk, Naumko, 20136): *a—д* — crystals from chambers, *e—л* — individuals from weathering crust (zone of leaching).

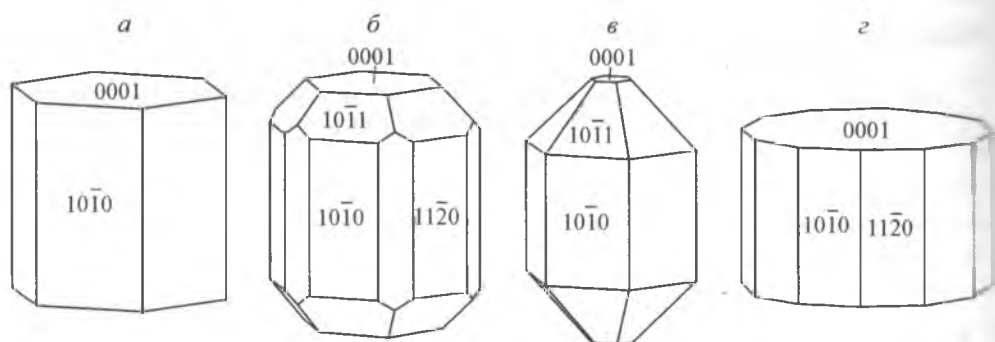


Рис. 5. Морфология кристаллов берилла согласно структурным подходам.

a — истинные *F*-грани; *б* — морфологически важные грани согласно комплексному структурному подходу, учитывающему ретикулярную плотность, симметрию грани и ПЦС-векторы; *в* — равновесная форма по методу Донней-Харкера; *г* — форма кристалла, которая отвечает симметрии грани.

Fig. 5. Morphology of beryl crystals according to structural approaches: *a* — genuine *F*-faces, *б* — morphologically important faces according to complex structural methods, *в* — the equilibrium form according to the Donney-Harker's method, *г* — form of crystal corresponding to the face's symmetry.

4. Ретикулярная плотность граней берилла хорошо коррелирует с d_{hkl} .
5. ПЦС-векторы в структуре берилла проходят в направлениях $[0001]$, $[12\bar{3}0]$, $[\bar{1}101]$ и симметричных им.
6. Теоретическими F -гранями на кристаллах берилла являются пинакоид $\{0001\}$, гексагональные призмы $\{10\bar{1}0\}$ и $\{11\bar{2}0\}$, гексагональные бипирамиды $\{11\bar{2}2\}$, $\{11\bar{2}3\}$, $\{11\bar{2}4\}$, $\{01\bar{1}2\}$, дигексагональные бипирамиды $\{31\bar{4}2\}$, $\{21\bar{3}4\}$.
7. Истинными F -гранями на кристаллах берилла являются только пинакоид $\{0001\}$ и призма $\{10\bar{1}0\}$.
8. Симметрия граней кристаллов определяет морфологическую важность форм $\{0001\}$, $\{10\bar{1}0\}$ и $\{11\bar{2}0\}$.
9. Разные структурные подходы указывают на морфологическую важность граней $\{0001\}$, $\{10\bar{1}0\}$, $\{11\bar{2}0\}$, $\{10\bar{1}1\}$. Другие формы могут служить индикаторами условий образования.
10. На берилле из камерных пегматитов Волини нами установлены грани $\{0001\}$, $\{10\bar{1}0\}$, $\{11\bar{2}0\}$, $\{10\bar{1}1\}$, $\{11\bar{2}1\}$, $\{21\bar{3}1\}$. Статистически важная бипирамида $\{10\bar{1}2\}$, которая является теоретической F -гранью, не установлена.
11. Бипирамиды $\{10\bar{1}1\}$ и $\{11\bar{2}1\}$, имеющие сравнительно большую ретикулярную плотность, играют значительную роль в огранке волинского берилла.
12. Редкая форма $\{21\bar{3}1\}$ встречается только в зоне выщелачивания. Сравнительно частое появление и небольшое развитие этой грани могут служить индикатором условий образования берилла.

Список литературы

- Брэгг У. Л., Кларингбулл Г. Ф. Кристаллическая структура минералов. М.: Мир, 1967. 390 с.
- Вовк О., Наушко І. Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пегматитів Волині // Мінерал. зб. 2013а. № 63. Вип. 1. С. 52—59.
- Вовк О., Наушко І. Кристаломорфологія берилу з камерних пегматитів Волині // Мінерал. зб. 2013б. № 63. Вип. 2. С. 82—89.
- Михеев В. И., Шафрановский И. И. Рентгенометрический способ определения морфологически важных граней кристаллов // ЗВМО. 1949. С. 166—171.
- Хартман П. Зависимость морфологии кристалла от кристаллической структуры // Рост кристаллов. М.: Наука, 1967. Т. 7. С. 8—24.
- Шафрановский И. И. Кристаллы минералов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1957. 223 с.
- Шафрановский И. И. Лекции по кристалломорфологии. М.: Высшая школа, 1968. 176 с.
- Шафрановский И. И. Формы кристаллов // Тр. Ин-та кристаллогр. 1964. Вып. 4. С. 13—166.
- Bravais A. Etudes cristallographiques // J. De l'Ecole polytech. 1851. Vol. 34. P. 166—170.
- Donnay J. D. H., Harker D. A new law of crystal morphology extending the law of Bravais // Amer. Miner. 1937. Vol. 23. P. 446—467.

Поступила в редакцию
20 февраля 2014 г.