

А. С. ПОВАРЕННЫХ

К ВОПРОСУ О КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ  
БОРАТОВ

Произведенные за последние годы расшифровки структур ряда боратов позволяют нам сделать попытку новой систематизации этого класса минералов на основе кристаллохимического принципа. На примере класса силикатов теперь всем стали очевидными громадные преимущества кристаллохимической классификации минералов над устаревшей формальной химической систематикой, совершенно не учитывавшей внутреннего строения минералов и, следовательно, не облегчавшей понимания их важнейших свойств. Кристаллохимическая классификация выявляет и подчеркивает коренную связь между составом-строением и свойствами минералов, а, как показали последние работы русских минералогов и кристаллохимиков (В. С. Соболева, Н. В. Белова и др.), целеустремленная интерпретация свойств весьма облегчает расшифровку структур минералов и даже позволяет нередко делать структурные прогнозы (Соболев, 1949<sub>2</sub>). Все это неоспоримо доказывает прогрессивное значение кристаллохимической систематики минералов и полезность работ в этом направлении.

В связи с очень слабой изученностью строения боратов этот класс минералов до недавнего времени систематизировался произвольно и не очень удачно, как, например, у Винчелла (1949). Химические формулы ряда минеральных видов имели неверное начертание и были по существу чисто эмпирическими. Правда, В. С. Соболев (1949<sub>1,2</sub>) указывал на тесную связь боратов с силикатами, но систематики их пока не привел.

Прежде чем перейти к рассмотрению боратов, мы напомним вкратце основные особенности их кристаллохимии. Как известно, бораты по своей природе близко стоят к силикатам, потому что лежащие в основе их борокислородные радикалы  $[\text{BO}_3]^{-3}$  способны к сцеплению между собой в комплексы более высокого порядка (острова, цепи и т. д.). Среди искусственных соединений уже давно установлены кольца состава  $[\text{B}_2\text{O}_6]^{-3}$  и цепи  $[\text{BO}_2]^{-1}$  (Эванс, 1948). В отличие от кремния бор, кроме треугольных радикалов  $[\text{BO}_3]^{-3}$ , дает еще тетраэдрические радикалы  $[\text{BO}_4]^{-5}$ . Последние были установлены сначала только в боросиликатах. В боратах, если не считать довольно проблематической структуры искусственного пентабората К, четверная координация В была обнаружена лишь в самое последнее время.

Однако уже сам факт существования бора в разных координациях позволял теоретически предвидеть возможность образования среди боратов каркасных структур, так как сцепление всеми вершинами одновременно треугольников  $[\text{BO}_3]^{-3}$  и тетраэдров  $[\text{BO}_4]^{-5}$  приводит не к нейтральному каркасу-окислу (как, например, в случае  $\text{B}_2\text{O}_3$ , где сцеплены

только одни треугольники  $[\text{BO}_3]^{-3*}$ , а к каркасу, обладающему зарядом и способному поэтому «принимать в себя» катионы.

Посмотрим теперь, какие радикалы и комплексы более или менее достоверно известны среди природных боратов. Одним из первых был установлен радикал  $[\text{BO}_3]^{-3}$  в структуре гамбергита  $\text{Be}_2\text{OH}[\text{BO}_3]$ , расшифрованной Захариасеном (Zachariasen, 1931), и несколько позже (Ehrenberd und Ramdohr, 1934) в норденшельдите  $\text{CaSn}[\text{BO}_3]_2$ , причем в данном случае косвенно, на основании изоструктурности последнего с доломитом. В недавнее время были расшифрованы структуры котоита  $\text{Mg}_3[\text{BO}_3]_2$  (Berger, 1949; Sadanaga, 1950), флуоборита  $\text{Mg}_3(\text{F}, \text{OH})_3[\text{BO}_3]$  (Takeuchi, 1950) и минералов группы людовигита и варвикита (Bertaut, 1950; Takeuchi и др., 1950), в которых были обнаружены изолированные треугольники  $[\text{BO}_3]^{-3}$ , характерные для ортоборатов. При этом для минералов группы людовигита и варвикита установлено наличие дополнительных ионов кислорода, не входящих в радикал, что предвидели наши минералоги (Бстехтин, 1950) еще до исследования структур этих минералов. Напротив, авторы второй части справочника Дана (Palach, Bergmann, Frondel, 1951), несмотря на знакомство с упомянутыми выше работами, упрямо стоят на старых позициях и приводят эмпирические формулы этих минералов, обобщая весь O с атомами В в невозможные радикалы  $[\text{BO}_5]^{-7}$ .

Таким образом, теперь можно считать группу боратов с изолированными треугольниками  $[\text{BO}_3]^{-3}$  хорошо изученной, причем здесь следует различать островные бораты простого состава и с добавочными ионами (O, OH, F). С неисследованной структурой остался еще только еремеевит  $\text{Al}[\text{BO}_3]$ , который В. С. Соболев (1949<sub>2</sub>) на основании морфологии и свойств склонен отнести к кольцевым боратам<sup>1</sup>. Это предположение, если исходить из тройной координации В, представляется сомнительным, потому что в таком случае в структуре еремеевита должны были бы изобиловать многочисленные несвязанные ионы O. Однако если весь В находится здесь в четверной координации (что, как увидим из последующего, не исключено), то тогда вполне возможно кольцевое строение еремеевита с формулой  $\text{Al}_6[\text{B}_6\text{O}_{18}]^2$ .

Весьма важным событием в изучении строения боратов явилось установление Ито, Моримото и Саданага (Ito, Morimoto, Sadanaga, 1951) каркасной структуры борацита, недавно наглядно интерпретированной Н. В. Беловым (1952). Эта расшифровка структуры борацита явилась подтверждением замечательного научного предвидения В. С. Соболева, предсказавшего ранее для этого бората каркасное строение на основе анализа лишь одних его свойств.

Не касаясь деталей строения борацита, укажем, что из 56 атомов В, входящих на элементарную ячейку, 24 имеют четверную кислородную координацию и 32 — тройную, т. е., иначе, отношение  $[\text{BO}_4]^{-5} : [\text{BO}_3]^{-3}$  составляет 3 : 4. Учитывая ионы O, не связанного с В, можно

\* Правда, сейчас установлено (Berger, 1952), что в основе строения  $\text{B}_2\text{O}_3$  лежат не треугольники  $[\text{BO}_3]$ , а тетраэдры  $[\text{BO}_4]$ , три вершины которых разделены одновременно с тремя и одна вершина — с двумя соседями.

<sup>1</sup> Низкое отрицательное дупреломление еремеевита (0,013), вообще мало характерное для боратов этого типа, вероятно, связано с непараллельностью радикалов  $[\text{BO}_3]^{-3}$  в его структуре. Однако даже при параллельной ориентации радикалов известны относительно низкие значения дупреломления, как, например, у котоита.

<sup>2</sup> Как доложил на Федоровской сессии 1955 г. Н. В. Белов, в его лаборатории установлено, что В в структуре еремеевита имеет тройную координацию и треугольники  $\text{BO}_3$  имеют взаимноперпендикулярную ориентировку. Кроме того, в нем содержатся гидроксильные группы, в связи с чем формула его оказалась следующей:  $\text{Al}_6(\text{OH})_3[\text{BO}_3]_5$ .

## Вывод структурной

№ п/п.	Эмпирические формулы родичита	Те же формулы после объединения кристаллохимически сходных ионов
1	$\text{Li}_4\text{NaKBe}_3\text{Al}_4\text{B}_{10}\text{O}_{27}$	$(\text{K}, \text{Na})_2(\text{Li}, \text{Al})_8(\text{Be}, \text{B})_{13}\text{O}_{27}$
2	$\text{H}_{10}\text{Na}_2\text{K}_8\text{Be}_{14}\text{Al}_{20}\text{B}_{32}\text{O}_{100}$	$(\text{K}, \text{Na})_{10}\text{Al}_{20}(\text{Be}, \text{B})_{46}\text{O}_{90}(\text{OH})_{10}$
3	$\text{H}_3\text{Li}_6\text{Na}_4\text{K}_4\text{Be}_{13}\text{Al}_{26}\text{B}_{38}\text{O}_{113}$	$(\text{K}, \text{Na})_8(\text{Li}, \text{Al})_{36}(\text{Be}, \text{B})_{51}\text{O}_{111}(\text{OH})_2$
4	$\text{H}_6\text{Li}_2\text{Na}_2\text{K}_4\text{Be}_{20}\text{Al}_{18}\text{B}_{42}\text{O}_{116}$	$(\text{K}, \text{Na})_6(\text{Li}, \text{Al})_{20}(\text{Be}, \text{B})_{62}\text{O}_{110}(\text{OH})_6$
5	$\text{NaLiBe}_7\text{Al}_6\text{B}_{14}\text{O}_{38}$	$\text{Na}(\text{Li}, \text{Al})_7(\text{Be}, \text{B})_{21}\text{O}_{38}$

\* Формулы 1—4 выведены из данных [16] и соответствуют порядку приведения химических опущены.

структурную формулу борацита написать следующим образом:  $\text{Mg}_3\text{O}[\text{B}_3\text{B}_4\text{O}_{12}] \text{Cl}$ . Незначительный отрицательный заряд комплексного радикала  $[\text{B}_3\text{B}_4\text{O}_{12}]^{-3}$ , несмотря на обилие заключающихся в нем атомов В, объясняется тем, что носителем таких зарядов является в комплексных боратах только В в четверной координации (дающий один отрицательный заряд на каждый каркасный радикал  $[\text{BO}_2]^{-1}$ . В кристаллохимическом отношении каркасные бораты аналогичны алюмосиликатам, где мы видим попарно соответствующие по своей роли радикалы  $[\text{BO}_3]^{-3}$  и  $[\text{SiO}_4]^{-4}$ ,  $[\text{BO}_4]^{-5}$  и  $[\text{AlO}_4]^{-5}$ .

В связи с расшифровкой структуры борацита, нам кажется, нетрудно разобраться в составе другого, несомненно каркасного, бората — родичита. Рассмотрение его немногочисленных химических анализов показывает, что принятая для родичита сложная эмпирическая формула весьма условна и соотношение между компонентами изменяется в широких пределах, как это видно из таблицы.

Все эти эмпирические формулы можно упростить, если объединить кристаллохимически сходные элементы вместе (Na и K, Be и B, Li и Al). Как видно из таблицы, окончательная структурная формула родичита вполне аналогична формуле борацита. Увеличение отрицательного заряда комплексного радикала здесь вызывается изоморфным замещением  $[\text{BO}_4]^{-5}$  на  $[\text{BeO}_4]^{-6}$ , что при максимальном замещении дает три дополнительных отрицательных заряда<sup>1</sup>. Вместе со свободными ионами O максимальный отрицательный заряд составит 10 единиц. Это налагает определенные ограничения на численные значения катионов, причем видно (прежде всего из анализов), что максимальный численный коэффициент Al (при отсутствии Li) не может превышать значения 3; вариации количества Li балансируются, должно быть, замещениями O на OH или Be на B.

Понятно, что приведенные выше расчеты и вывод формулы родичита могут вызвать к себе скептическое отношение (особенно если учесть вероятные ошибки анализов). Однако мы рассматриваем этот вывод лишь как попытку прогноза структуры родичита, каркасная природа которой, как об этом говорят его свойства, не подлежит никакому сомнению.

Интересно отметить, что уже очень давно (115 лет назад), сразу вслед за открытием этого русского минерала на Урале, знаменитый минералог

<sup>1</sup> Такое замещение B на Be нам кажется вполне вероятным по аналогии с замещением Si на Al и подобно тому, как мы говорим об алюмосиликатах, можно говорить о бериллоборатах.

## формулы родичита \*

Упрощенные (путем округления и сокращения) формулы	Окончательная структурная формула родичита
$(K, Na)_2 (Li, Al)_8 (Be, B)_{13} O_{27}$ $(K, Na)_3 Al_6 (Be, B)_{14} O_{27} (OH)_3$ $(K, Na)_2 (Li, Al)_8 (Be, B)_{13} O_{28} (OH)_{0,5}$ $(K, Na)_{1,15} (Li, Al)_5 (Be, B)_{15} O_{38} (OH)_{1,5}$ $Na_{0,7} (Li, Al)_5 (Be, B)_{15} O_{27}$	$(K, Na)_2 (Li, Al)_8 (O, OH)_4 [(Be, B)_{14} O_{24}]$ или $(K, Na) (Li, Al)_4 (O, OH)_2 [(Be, B)_3 B_4 O_{12}]$

\* а наливов в этой книге; формула 5 взята из [3]. Изоморфные с K Cs и Rb для простоты в формулах

Д. И. Соколов указал на его тесное сходство с борацитом. Он писал: «Вероятно, что родичит есть такой борацит, в котором горькозем замещен отчасти литиою, что очень согласно с нахождением его на литиистом турмалине, в одном месторождении с литиистой слюдою»<sup>1</sup>.

Этими двумя минеральными видами, вероятно, исчерпывается список каркасных боратов, если иметь в виду уже известные минералы.

Весьма любопытным оказался недавно открытый сотрудниками Британского музея (Clabingbull а. Ней, 1952) среди минеральных коллекций с Цейлона новый борат — сингалит. Он относится к островным боратам, но в отличие от последних весь В обладает здесь четверной координацией. Формула сингалита  $MgAl [BO_4]$ . Возникновение и устойчивость такой координации В, повидимому, связаны с особыми термодинамическими условиями и его высокой концентрацией в природных процессах. Представляя собой аналог ортосиликатов, сингалит по ряду свойств почти не отличается от оливина и обнаружен в музее среди образцов последнего. В связи со строением сингалита представление об еремеевите как о кольцевом борате состава  $Al_6 [B_6 O_{18}]$  не должно казаться невероятным.

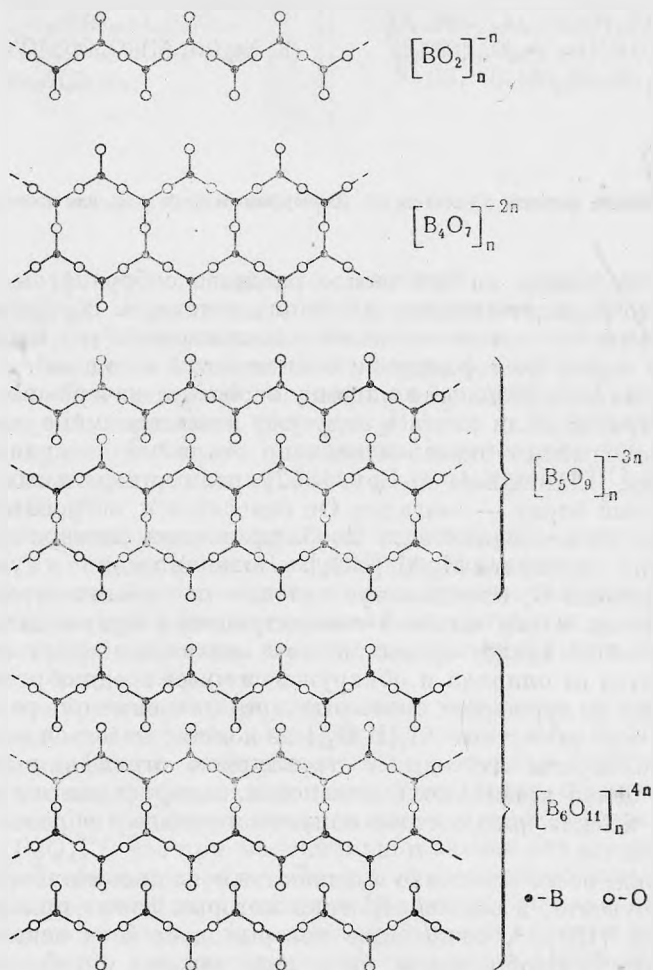
Остальные бораты изучены в структурном отношении значительно хуже, и для целей кристаллохимической классификации мы вынуждены пока помимо химического состава опираться главным образом на их физические свойства.

Здесь прежде всего отчетливо выделяются основные метабораты группы ашарита и роувейта, в основе строения которых лежат простые цепи из треугольников  $[BO_3]^{-3}$ , сочленение которых дает бесконечный радикал состава  $[BO_2]_n^{-n}$ . Изображение их в виде кислых ортоборатов (Бетехтин, 1950) следует признать ошибочным. Очевидно, сюда же нужно отнести одноосный, положительный пиннойт, содержащий кристаллизационную воду.

Изучение структур многочисленных кристаллогидратов этого класса, которые, кстати сказать, являются наиболее распространенными и промышленно важными представителями боратов, к сожалению, находится еще в самой начальной стадии. Сюда относятся так называемые тетра-, пента- и гексабораты. Совершенная пинакоидальная или призматическая спайность, игольчато-волокнистый облик и высокое (0,025—0,060) дву- преломление убедительно доказывают цепное строение их радикалов.

<sup>1</sup> Соколов Д. И. Дополнение к минералогии. СПб., 1838, стр. 38.

Недавнее структурное исследование буре (Font a. Tullot, 1950) полностью подтвердило предполагаемое наличие в ее строении цепных радикалов, состоящих из двоянных цепей борокислородных треугольников, ориентированных параллельно (100) и связанных между собой молекулами воды. В строении пента- и гексаборатов, вероятно, комбинируются вместе двоянные и одиночные цепи, как это схематически показано на рисунке, хотя пока надо признать это лишь предположением, тем более



что характер строения даже одиночных цепей метаборатов нередко значительно более сложен. Так, например, недавно было показано (Zachariasen, 1952), что в строении метаборной кислоты  $HBO_2$  принимают участие цепи, состоящие из сцепления попеременно чередующихся диортогрупп  $B_2O_5$  и тетраэдров  $BO_3OH$ . Каковы бы ни были особенности строения самих цепей, которые будут раскрыты позднее, цепная природа строения этих кристаллогидратов совершенно очевидна, что позволяет нам выделить их в отдельный подкласс, аналогичный пироксенам и амфиболам в классе силикатов.

Вопрос о существовании боратов слоистого строения до настоящего времени оставался неясным, хотя такая возможность в принципе не от-

вергались. Недавно произведенные расшифровки структур типлеита (Fognaseri, 1950) и бандилита (Collin, 1951) позволяют интерпретировать строение этих минералов как слоистое, особенно если учесть, что бор находится в них в четверной гидроксильной координации и, следовательно, влияние плоских радикалов  $[\text{BO}_3]^{-3}$  на высокое двупреломление минералов здесь исключено. Ясно, что структурные формулы упомянутых выше минералов должны быть соответственно изменены, чтобы не вводить в заблуждение своим «метаборатным» видом. Таким образом, для типлеита вместо общепринятой эмпирической формулы  $\text{NaBO}_2\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  необходимо писать  $\text{Na}_2(\text{Cl})[\text{B}(\text{OH})_4]$ .

Изложенный выше материал показывает, что класс боратов действительно близок к классу силикатов и может быть разделен на подклассы, аналогично последним. Конечно, он несравненно менее богат минеральными видами и хуже изучен, чем класс силикатов, но это, однако, не является препятствием для систематизации. Однотипность же систематики минералов внутри классов представляет выгодное преимущество классификации вообще и особенно необходима для руководства или учебника минералогии. Итак, наша систематика минеральных видов класса боратов выглядит следующим образом.

### Бораты

#### Подкласс I. Каркасные бораты

##### 1. Группа борацита:

борацит  $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{O} [\text{B}_3\text{B}_4\text{O}_{12}]\text{Cl}$

родицит  $(\text{K}, \text{Na}) (\text{Li}, \text{Al})_4 (\text{O}, \text{OH})_2 [\text{Be}, \text{V})_3\text{B}_4\text{O}_{12}]$

#### Подкласс II. Островные бораты

##### A. Без добавочных анионов

##### 1. Группа сингалита: сингалит

$\text{MgAl}[\text{BO}_4]$

##### 2. Группа котоита: котоит

$\text{Mg}_3[\text{BO}_3]_2$

##### 3. Группа норденшельдита:

норденшельдит  $\text{CaSn}[\text{BO}_3]_2$

##### B. С добавочными анионами $\text{O}^{-2}$ , $\text{OH}^{-1}$ , $\text{F}^{-1}$

##### 1. Группа гамбергита:

гамбергит  $\text{Be}_2 (\text{OH}) [\text{BO}_3]$

##### 2. Группа флуоборита:

флуоборит  $\text{Mg}_3 (\text{F}, \text{OH})_3 [\text{BO}_3]$

##### 3. Группа варвикита:

варвикит  $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{TiO}_2 [\text{BO}_3]_2$

##### 4. Группа людвигита:

людвигит  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{FeO}_2[\text{BO}_3]$

халсит  $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Fe}, \text{Sn})_2\text{O}_4[\text{BO}_3]_2$

##### 5. Группа пинакиолита:

пинакиолит  $(\text{Mg}_3\text{Mn})\text{Mn}_2\text{O}_4 [\text{BO}_3]_2$

##### 6. Группа еремеевита:

еремеевит  $\text{Al}_6(\text{OH})_3[\text{BO}_3]_5$

##### B. С добавочными радикалами

##### 1. Группа симанита:

симанит  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4) [\text{BO}_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

#### Подкласс III. Цепные бораты

##### A. С простыми цепями

##### а. Безводные

##### 1. Группа апарита:

апарит  $(\text{Mg}, \text{Mn}) \text{OH} [\text{BO}_2]$

##### б. Кристаллогидраты

##### 1. Группа пинноита:

пинноит  $\text{Mg}[\text{BO}_2]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

2. Группа роуевита:  
роуевит (Mn, Mg, Zn) (OH)<sub>2</sub>[VO<sub>2</sub>]<sub>2</sub>
2. Группа кургантаита:  
кургантаит (Sr, Ca) [VO<sub>2</sub>]<sub>2</sub>·0,5H<sub>2</sub>O
- Б. С двойными и более сложными цепями
1. Группа буры:  
кернит Na<sub>2</sub>[V<sub>4</sub>O<sub>7</sub>]·4H<sub>2</sub>O  
бура Na<sub>2</sub>[V<sub>4</sub>O<sub>7</sub>]·10H<sub>2</sub>O
2. Группа боронатрокальцита  
пробергит NaCaV<sub>5</sub>O<sub>9</sub>·5H<sub>2</sub>O  
боронатрокальцит NaCaV<sub>5</sub>O<sub>9</sub>·8H<sub>2</sub>O  
пандермит Ca<sub>2</sub>(OH)V<sub>5</sub>O<sub>9</sub>·3H<sub>2</sub>O (?)
3. Группа колеманита:  
витчит Ca<sub>2</sub>V<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·2H<sub>2</sub>O  
колеманит Ca<sub>2</sub>V<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·5H<sub>2</sub>O  
мейергофферит Ca<sub>2</sub>V<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·7H<sub>2</sub>O  
иньоит Ca<sub>2</sub>V<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·13H<sub>2</sub>O
4. Группа гидрборацита:  
гидрборацит CaMgV<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·6H<sub>2</sub>O
- индерборит CaMgV<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·14H<sub>2</sub>O
5. Группа курнаковита:  
курнаковит Mg<sub>2</sub>V<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·13H<sub>2</sub>O  
индерит Mg<sub>2</sub>V<sub>6</sub>O<sub>11</sub>·15H<sub>2</sub>O
6. Группа гилгардита:  
гилгардит Ca<sub>8</sub>(Cl<sub>4</sub>) [V<sub>6</sub>O<sub>11</sub>]<sub>3</sub>·4H<sub>2</sub>O
7. Группа аммонийборита:  
аммонийборит  
(NH<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>(H<sub>3</sub>O)<sub>2</sub> [V<sub>5</sub>O<sub>10</sub>] (?)
8. Группа джिनорита:  
джинорит Ca<sub>2</sub>V<sub>14</sub>O<sub>23</sub>·8H<sub>2</sub>O
9. Группа калиборита:  
калиборит KMg<sub>2</sub>V<sub>11</sub>O<sub>19</sub>·9H<sub>2</sub>O

#### Подкласс IV. Слоистые бораты

1. Группа типлеита:  
типлеит Na<sub>2</sub>(Cl) [V(OH)<sub>4</sub>]  
бандилит Cu<sub>2</sub>(Cl) [V(OH)<sub>4</sub>]

В эту систематическую таблицу нами не внесены такие минералы, как, например, говлит Ca<sub>2</sub>Si V<sub>5</sub>O<sub>9</sub>(OH)<sub>5</sub>, бакерит, Ca<sub>4</sub>V<sub>4</sub> [VO<sub>3</sub>] [SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub> (OH)<sub>5</sub> и другие, состав которых сложен, а свойства плохо изучены. В заключение хочется выразить надежду, что предлагаемая систематика боратов при всем ее несовершенстве окажется полезной и облегчит студентам ориентировку среди минералов этого класса, а педагогам—систематическое их изложение. Хотелось бы также пожелать нашим кристаллохимикам-структурщикам, чтобы они обратили свое внимание на подкласс цепных боратов и помогли минералагам разобраться в их строении.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Н. В. Белов. Очерки по структурной минералогии, ч. III. Минер. сборн. Львовск. геол. об-ва, № 6, 1952.
- А. Г. Бетехтин. Минералогия. Госгеолгиздат, 1950.
- А. Н. Винчелл. Оптическая минералогия. Гос. изд-во иностр. лит-ры, 1949.
- В. С. Соболев. О структуре боратов. Минер. сборн. Львовск. геол. об-ва, № 3, 1949.
- В. С. Соболев. Принципы и попытка построения рациональной классификации минералов, ч. 2. Минер. сборн. Львовск. геол. об-ва, № 3, 1949.
- Р. Эванс. Введение в кристаллохимию. Госхимиздат, 1948.
- S. V. Berger. Acta chem. Scand., V. 3(7), p. 660, 1949.
- S. V. Berger. Acta crystallogr., v. 5(3), p. 389, 1952.
- E. F. Bertaut. Acta crystallogr., v. 3 (6), p. 473, 1950.
- G. F. Clabingbull a. M. H. Hey. Sinhalite (MgAlBO<sub>4</sub>), a new mineral. Miner. Mag., v. XXIX, N 217, p. 841, 1952.
- R. L. Collin. Acta crystallogr., v. 4, p. 204, 1951.
- H. Ehrenberg und P. Ramdohr. Neues Jahrbuch, Min., v. 69, p. 1, 1934.
- I. M. Font a. Tullot. Chem. Abstr., v. 44 (17), p. 7611, 1950.
- M. Fornaseri. Periodico Mineral Ital., v. 18, p. 103, 1950.

- T. Ito, N. Morimoto, R. Sadanaga. *Acta crystallogr.*, v. 4, p. 340, 1951.
- C. Palach, H. Bermann, C. Frondel. *Dana's system of Mineralogy*, v. 2, 1951.
- R. Sadanaga. *Chem. Abstr.*, v. 44 (13), p. 5765, 1950.
- Y. Takeuchi. *Acta crystallogr.*, v. 3, p. 208, 1950.
- Y. Takeuchi, T. Watanabé, T. Ito. *Acta crystallogr.*, v. 3 (2), p. 98, 1950.
- W. H. Zachariasen. *Zeit. f. Kristall.*, v. 80, p. 137, 1931.
- W. H. Zachariasen. *Acta crystallogr.*, v. 5, p. 71, 1952.
-