

УДК 549072, 549.02

ЯРАНДОЛИТ $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]$ — КАЛЬЦИЕВЫЙ БОРАТ ИЗ СЕРБИИ: НОВОЕ НАЗВАНИЕ И НОВЫЕ ДАННЫЕ¹

С.В. Малинко

Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС), г. Москва,

С. Аничич, Д. Йоксимович

Геозавод «Неметаллы», г. Белград, Сербия

А.Е. Лисицын, В.В. Руднев

Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС), г. Москва, vims@af.ru

Г.И. Дорохова, Н.А. Ямнова

Московский Государственный Университет им М.В. Ломоносова, Москва

В.В. Власов, А.А. Озол

Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых (ЦНИИГеолнеруд), г. Казань

Н.В. Чуканов

Институт Проблем химической физики РАН (ИПХФ РАН), г. Черноголовка, chukanov@icp.ac.ru

В статье даны новые данные о кальциевом борате из Ярандольского бассейна (Сербия) ярандолите, который ранее был кратко описан Д. Стоянович с соавторами под предварительным названием «сербианит». Ярандолит образует шестоватые агрегаты уплощенных индивидов длиной до 1.5 см и ассоциирует с колеманитом, говлитом, улекситом, витчитом, студеницитом, пентагидроборитом, монтмориллонитом. Минерал бесцветный, полупрозрачный. Блеск стеклянный, спайность весьма совершенная по (001). Микротвердость $H_{\text{средн}} = 645 \text{ кг/мм}^2$ (около 5 по шкале Мооса). $D_{\text{изм}} = 2.49(2) \text{ г/см}^3$. Вычисленная плотность равна 2.57 г/см^3 (из эмпирической формулы); 2.57 г/см^3 (из структурных данных). Минерал двуосный, оптически положительный. $2V = 60(2)^\circ$, $n_p = 1.573(2)$, $n_m = 1.586(2)$, $n_g = 1.626(2)$. Дисперсия оптических осей $r > v$ средняя. Удлинение положительное. Ориентировка: $Np = c$, $Nm = b$, $aNg = +8^\circ$. Плеохроизм отсутствует. Наблюдаются простые формы {001}, {011} и {111}. Микродвойникование по (001). Даны ИК-спектр и термограмма. Содержания основных компонентов равны (мокрый химический анализ, мас. %): Na_2O 0.05, K_2O 0.07, CaO 30.56, MgO 0.02, MnO 0.01, Fe_2O_3 0.20, Al_2O_3 0.03, SiO_2 0.20, B_2O_3 55.44, Cl 0.21, H_2O 13.36, $-\text{O} = \text{Cl}_2$ -0.05, сумма 100.10. Эмпирическая формула: $\text{Ca}_{1.02}(\text{B}_{2.99}\text{Si}_{0.01})\text{O}_{4.125}(\text{OH})_{2.79}\text{Cl}_{0.01}$. В основе структуры ярандолита, изученной на монокристалле ($R = 0.035$), лежат спирально искривленные цепочки колеманитового типа. Минерал моноклинный, пространственная группа $P2_1/a$, $a = 8.386(3)$, $b = 8.142(4)$, $c = 7.249(3) \text{ \AA}$, $\beta = 98.33(3)^\circ$, $V = 489.7 \text{ \AA}^3$. Сильные линии рентгенограммы порошка [d , \AA (I , %) (hkl): 4.32 (57) (111), 3.39 (100) (201), 3.13 (50) (211), 2.93 (23) (-202), 2.606 (25) (221), 1.849 (25) (-421, 420).

В статье 1 таблица, 5 рисунков, в списке литературы 8 наименований

Новый водный кальциевый борат — ярандолит (jarandolite) состава $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ найден геологом геозавода «Неметаллы», г. Белград Стояном Аничичем в вулканогенно-осадочных месторождениях бора Побрджски Поток [Pobrdjski Potok] и Писканя [Piskanja] примерно в 280 км южнее г. Белграда (рис. 1), вблизи горного городка Балевац на берегу реки Ибар. Изучение минерала, результаты которого приводятся в данной статье, производились во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья (ВИМС), г. Москва, Московском государственном Университете и Центральном научно-исследовательском институте геологии нерудных полезных ископаемых (ЦНИИГеолнеруд), г. Казань. Борату присвоено название ярандолит по находению его выделений в вулканогенно-осадочной толще Ярандольского миоценового бассейна [Jarandol basin] в Сербии.

Первые сведения о борате с близким хими-

ческим составом, установленным по данным микрорентгеновских определений, но без данных по изучению кристаллической структуры и с некоторыми неточными оптическими константами минерала были опубликованы ранее в тезисах докладов конференций кристаллографического общества Сербии (Stojanovic', 1992; Djuric' *et al.*, 1993) и минералогической ассоциации Югославии (Stojanovic' *et al.*, 1993). Авторы присвоили изученному борату название сербианит (srbianite) — по месту находки в Сербии. Уже после публикации данных о новом борате была подана заявка (регистр. № ММА 95—020. Соп. Mineral., 1996.) в Комиссию по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА). Однако Комиссия, одобрив новый минерал, не утвердила предложенное названия и многолетние (до 2003 г.) дебаты по этому вопросу не привели к его положительному решению.

В этот же период (1992—1994 гг.) параллельно с исследованиями Д. Стоянович с кол-

¹ Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 2 сентября 2003 г.

легами нами также проводилось изучение неизвестных ранее боратов из вулканогенно-осадочных месторождений бора Побрдзски Поток и Писканя. Первым был изучен и описан новый натриево-кальциевый борат — студеницит $\text{NaCa}_2[\text{B}_9\text{O}_{14}(\text{OH})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, утвержденный КНМНММА в 1994 г. (Ямнова и др., 1993; Малинко и др., 1995). В том же 1995 году в КНМНМ ММА С.В. Малинко с соавторами была подана заявка на новый минерал ярандолит, которая, однако, поступила в Комиссию позже аналогичной заявки сербских авторов. Поэтому авторы настоящей статьи, признавая приоритет Д. Стоянович с соавторами, отложили публикацию результатов своих исследований в ожидании принятия решения Комиссией ММА по заявке 95–020.

Более подробную информацию о рассмотрении заявки 95–020 на новый борат любезно предоставил Председатель КНМНМ ММА г-н Э.А.Дж. Бурке (E.A.J. Burke), разрешив использовать текст своих комментариев в данной публикации.

Комментарий председателя КНМНМ ММА

Рассмотрение заявки 95-020 является самым длительным и печальным в истории КНМНМ! Первоначальные данные об этом минерале были отправлены председателю КНМНМ Джозефу Мандарино от Добрицы Р. Стоянович 25 ноября 1992 г., но это письмо не дошло в Торонто. Новое письмо было отправлено 16 июня 1993 г. и получено 27 июля 1993 г., ответ на него отправлен 28 июля 1993 г.: по некоторым данным была необходима дополнительная информация.

28 декабря 1994 г. Д. Стоянович ответила на это письмо, но без необходимых дополнительных данных. Этот ответ был переправлен Джоэлу Грайсу, новому председателю КНМНМ. В письме от 23 марта 1995 г. Д. Грайс запросил ту же дополнительную информацию, что и Д. Мандарино, и получил эти данные в апреле 1995 г., а в мае 1995 г. заявка на новый минерал с названием србианит (95-020) была отправлена членом КНМНМ. Из этой заявки было очевидно, что название србианит уже публиковалось, без утверждения КНМНМ, в сербских журналах в 1992 и 1993 гг.

Результаты голосования по заявке 95-020 были опубликованы в Меморандуме КНМНМ, т. 21, № 8, 30 августа 1995 г.: минерал был утвержден, но название «србианит» было временно приостановлено из-за отсутствия необходимого большинства голосов «за». Д. Грайс предложил выбрать более характерное название для второго голосования, но Д. Стоянович попросила, чтобы название «србианит» было представлено на рассмотрение еще раз. Эта просьба была отправлена в КНМНМ 31 января, и результаты опубликованы в Меморандуме, т. 22, № 4, 30 апреля 1996 г. Это название было отложено во второй раз, и Д. Грайс вновь посоветовал выбрать более специализированное название, отражающее место находки. Несмотря на это, Д. Стоянович обратилась с просьбой о третьем голосовании, но в этот раз по названию «србианит». Это название было представлено на рассмотрение КНМНМ 29 августа 1997 г., а результат голосования опубликован в Меморандуме, т. 23, № 11, 26 ноября 1997 г.: название было отклонено большинством голосов. Затем Д. Грайс очень мягко предложил Д. Стоянович выбрать другое название для четвертого голосования.

Д. Стоянович не отвечала на это предложение Д. Грайса до июня 2002 г., запросив о четвертом голосовании, но опять по названиям «србианит» или «србианит». Д. Грайс проконсультировался со своими коллегами по КНМНМ и новым председателем, но не ответил на это письмо. Следующий шаг: Д. Стояно-

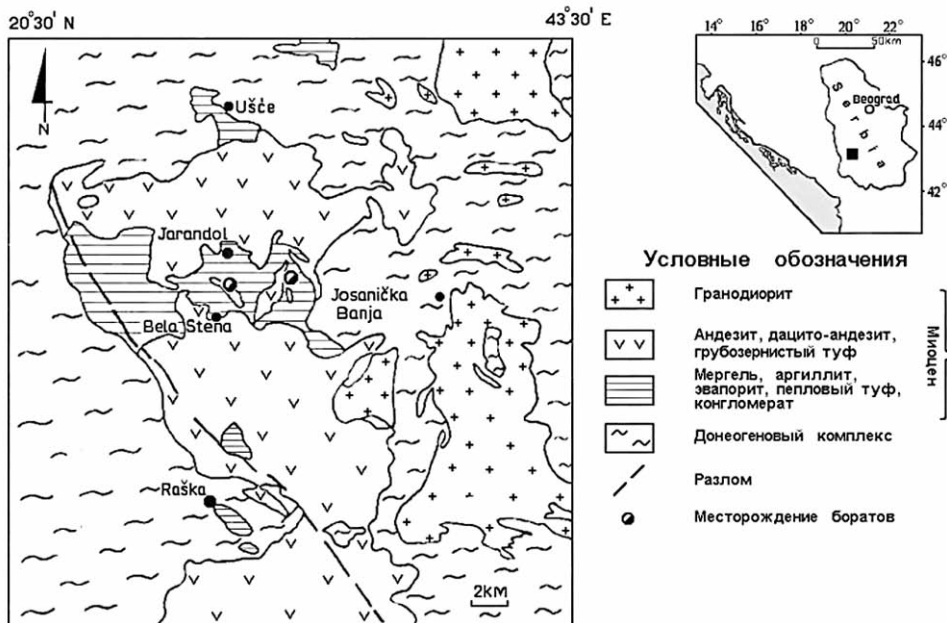


РИС. 1. Размещение боратовых месторождений в Ярандольском вулканогенно-осадочном бассейне (Obradovic' J. et al., 1992)

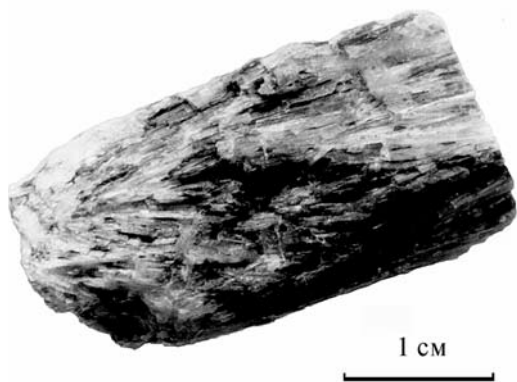


Рис. 2. Фрагмент сростка кристаллов ярандолита из керна скважины

вич отправила копию своего письма от июня 2002 г. Эрнсту Бурке (третий председатель КНМНМ, рассматривающий этот вопрос) в феврале 2003 г. В своем ответе (12 февраля 2003 г.) он объяснил Д. Стоянович, что ее пожелание невозможно: у нас было три голосования КНМНМ по этим названиям, и все три — отрицательные. Разрешение четвертого голосования по этим названиям было бы против всех правил, а принятие одного из названий было бы важным, но недопустимым прецедентом для всех авторов, желающих обойти принятый в КНМНМ порядок.

Чтобы сохранить данные по этому новому (и уникальному) борату, Э. Бурке предложил Д. Стоянович два альтернативных варианта: 1) предложить новое название, как уже трижды советовал Д. Грайс; это было бы легко сделать, т.к. название «србианит» содержится только в сербской литературе, которая не упоминается ни в GeoRef, ни в Web of Science; 2) объединиться с исследователями из России, которые сделали заявку на такой же минерал (из того же месторождения, 95-020) в марте 1995 г., сразу после того, как Д. Грайс получил от Д. Мандарино переписку об этом борате. Принимая во внимание предыдущий почти пятилетний перерыв, Эрнст Бурке потребовал от Д. Стоянович ответить ему до 11 апреля 2003 г., а если ответ не будет получен до указанной даты, то приоритет по этому минералу будет потерян.

В первой неделе апреля 2003 г. Э. Бурке получил ответ от Д. Стоянович на свои предложения. Д. Стоянович повторила свои пожелания от июня 2002 / февраля 2003 г. провести четвертое голосование по названиям «србианит» или «сербианит». Э. Бурке проконсультировался с двумя членами Совета ММА (предыдущим председателем и секретарем), которые поддержали его намерение придерживаться правил КНМНМ после двойного снисхождения к Д. Стоянович (разрешение третьего голосования по «србианиту» и предложение четвертого голосования по другому названию). Затем Э. Бурке решил дать возможность назвать минерал исследователям из России, т.к. Д. Стоянович явно отказалась следовать результатам голосования КНМНМ.

Настоящая публикация является результатом длительной процедуры присвоения названия этому борату. Поскольку местонахождение минерала является тем же, что и в заявке 95-020, то проблем не возникло. Только голотипный материал, конечно же, разный. Решение об утверждении минерала уже опубликовано (как обычно, без названия) в ежегодном списке новых минералов, например, в (Canadian Mineralogist, 1996, 34, 687). Результат го-

лосования КНМНМ по ярандолиту опубликован в Меморандуме т. 29, № 9, голоса по утверждению минерала распределились так: 25 «за», 1 «против», 0 «воздержался», по названию минерала: 24 «за», 2 «против», 0 «воздержался».

Авторы заявки по ярандолиту сообщили председателю КНМНМ, что их основная цель — опубликовать расширенный набор данных по этому минералу под утвержденным названием. В их письме они упомянули предыдущую работу команды Д. Стоянович и привели соответствующие ссылки, что очень благородно со стороны исследователей из России.

Е.А.Дж. Бурке, председатель КНМНМ ММА

Условия нахождения

Месторождения, в рудах которых установлен новый кальциевый борат, находятся в юго-западной Сербии и приурочены к цепи континентальных осадочных бассейнов, расположенных вдоль Балканского полуострова на востоке Средиземноморского региона, сформировавшихся как результат интенсивного олигоцен-плиоценового тектогенеза. Один из них — Ярандольский миоценовый озерный бассейн площадью до 200 км², в котором установлены боратовые месторождения, сложен магнетитовыми залежами, содержащими боратовые слои и угольные пропластки, перемежающиеся с обогащенными анальцимом туфогенными породами, глинами и мергелями. Субсеквентный олигоцен-плиоценовый вулканизм и тектоническая деятельность сформировали здесь озерную фацию неогеновых вулканогенно-осадочных образований мощностью 850—1500 м. В результате крайне разнообразных условий седиментации в Ярандольском бассейне сформировалась вулканогенно-осадочная толща, состоящая из глинистых пород, в которые включены различные количества туфогенных к карбонатных осадков, углистых, магнетитовых и боратовых линз (Obradovic' *et al.*, 1992).

Боратовые залежи в основном находятся в туфогенных и глинистых породах на различной глубине от дневной поверхности и имеют мощность от 1 до 12 м (средняя 4 м). Основными борными минералами в них являются колеманит, говлит, улексит, витчит. В ранее изученном нами новом борате из этих руд студениците — $\text{NaCa}_2[\text{B}_9\text{O}_{14}(\text{OH})_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, впервые для этого месторождения установлены прожилки пентагидроборита. В единичных случаях в вулканогенно-осадочных породах Ярандольского бассейна имели место находки сирлезита и люнебургита, выполняющих трещины в магнетитовых залежах. Характерно распространение монтмориллонита в ассоциации с боратами.

Морфология и физические свойства

Изученные образцы нового бората размером от 1.5×3.0 до 2.0×3.5 см, взятые из керна скважины на глубине около 100 м от дневной поверхности, представлены фрагментами агрегатов кристаллов ярандолита таблитчатого габитуса, сросшихся вдоль удлинения (рис. 2). Размер отдельных индивидов колеблется в пределах от первых мм до 1.5 см в длину при толщине от долей мм до 1–2 мм. Минерал бесцветный, полупрозрачный в массе и прозрачный в мелких осколках, Цвет в порошке белый. В некоторых образцах наблюдаются выделения смектита, окрашивающего близлежащие кристаллы ярандолита в светло-бурый цвет. Блеск стеклянный, Спайность весьма совершенная по (001). Твердость минерала была измерена Е.Г. Рябевой на приборе ПМТ-3, тарированном по каменной соли при нагрузке 50 г, экспозиция 15 сек.; среднее значение рассчитано по пяти отпечаткам: $H_{\text{средн}} = 645 \text{ кг/мм}^2$ ($H_0 = 6.0$); $H_{\text{мин}} = 616 \text{ кг/мм}^2$ ($H_0 = 6.0$); $H_{\text{макс}} = 669 \text{ кг/мм}^2$ ($H_0 = 6.1$). Отпечаток правильный, минерал хрупкий.

Плотность, измеренная методом гидростатического взвешивания, составляет $2.49(2) \text{ г/см}^3$. Плотность вычисленная из эмпирической формулы — 2.57 г/см^3 . С водой не взаимодействует; медленно растворяется в разбавленных HCl и H_2SO_4 . В катодных и ультрафиолетовых лучах не люминесцирует.

Минерал двуосный, оптически положительный. $2V_{\text{экс}} = 60(2)^\circ$; $2V_{\text{выч}} = 59^\circ 23'$. Показатели преломления измерены иммерсионным методом в белом свете: $n_p = 1.573(2)$, $n_m = 1.586(2)$, $n_g = 1.626(2)$. Дисперсия оптических осей $r > v$ средняя. Удлинение положительное. Ориентировка: $Np = c$, $Nm = b$, $aNg = +8^\circ$. Плеохроизм отсутствует.

На двукружном отражательном гониометре ГД-1 измерено 7 образцов обломков кристаллов со следами огранки. На 6 кристаллах установлено присутствие только двух простых форм: пинакоид {001} и ромбическая призма {110}. На седьмом кристалле отмечены следы

двух граней ромбической призмы {11}. Качество граней плохое, все сигналы на гониометре фиксировались только по отблескам (отсюда — точность измерения $\sim 1^\circ$). Поверхность всех граней дефектная: пинакоид слегка изогнут, на гранях призмы видны следы растворения. Для гониометрических измерений кристаллы юстировались по граням зоны [100]. Переход к стандартной минералогической установке ($c_{001} = 8.33^\circ$) произведен с помощью сетки Вульфа. Теоретические значения сферических координат граней рассчитаны по значениям параметров элементарной ячейки минерала: для {110} — $\varphi_{\text{экс}} = -10^\circ$, $\varphi_{\text{выч}} = 9.31^\circ$, $\rho_{\text{экс}} = -43^\circ$, $\rho_{\text{выч}} = 42.08^\circ$, для {111} $\varphi_{\text{экс}} = -34^\circ$, $\varphi_{\text{выч}} = -33.21^\circ$, $\rho_{\text{экс}} = -47^\circ$, $\rho_{\text{выч}} = 46.67^\circ$. Облик кристаллов таблитчатый (удлинение вдоль [100], уплощение по [001]). Габитус — пинакоидально-ромбопризматический (рис. 3).

В шлифах наблюдаются простые двойники. Измеренное значение ориентировки нормали к плоскости двойникового шва $DN_g \sim 83^\circ$ хорошо соответствует теоретическому углу $81.67^\circ = 90^\circ (cN_g) - 8.33^\circ (c_{001})$ для двойника срастания по (001).

Волновые числа для максимумов полос поглощения в ИК-спектре ярандолита (рис. 4) равны (см^{-1} ; s — сильная полоса, w — слабая полоса, sh — плечо): 3550 s, 3115, 2980, 1447, 1402 s, 1369, 1300 s, 1226, 1135 sh, 1110 sh, 1075, 1026 s, 983 s, 953 s, 889 s, 867 s, 810, 795 sh, 756, 695 sh, 687, 597 w, 577, 560, 533, 444 w, 419 w. Две группы полос в диапазонах $850 - 1050 \text{ см}^{-1}$ (наиболее интенсивные) и $1220 - 1450 \text{ см}^{-1}$ (менее интенсивные) валентным колебаниям с участием связей $\text{IVB}-\text{O}$ (в тетраэдрах $\text{BO}_2(\text{OH})_2$ и $\text{BO}_3(\text{OH})$) и $\text{IIIB}-\text{O}$ (в треугольниках BO_3) соответственно. Полосы при 2980 и 3115 см^{-1} обусловлены O—H-валентными колебаниями двух OH-групп, образующих очень прочные водородные связи. Узкая полоса при 3550 см^{-1} относится к почти свободной (не образующей водородной связи) OH-группе.

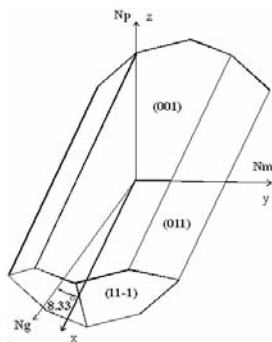


РИС. 3. Облик кристалла ярандолита

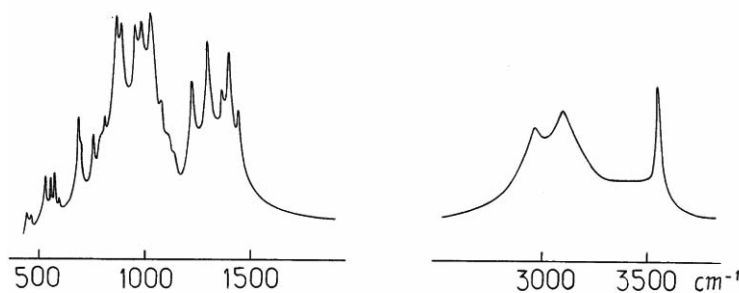


РИС. 4. ИК-спектр ярандолита

Таблица 1. Результаты расчета порошкограммы ярандолита (Со-излучение, ДРОН-УМ-1)

$I_{\text{набл}} \%$	$d_{\text{набл}} \text{ \AA}$	$d_{\text{выч}} \text{ \AA}$	hkl
2	4.77	4.76	-111
57	4.32	4.31	111
5	4.16	4.15	200
5	4.08	4.07	020
4	3.54	3.54	021
5	3.48	3.47	-211
100	3.39	3.385	201
13	3.18	3.18	121
50	3.13	3.13	211
23	2.93	2.93	-202
8	2.795	2.793	221
5	2.758	2.758	-212
14	2.690	2.691	022
25	2.606	2.603	221
17	2.360	2.358	311
19	2.287	2.288	320
6	2.212	2.215	-203
12	2.155	2.153	222
10	2.115	2.117	231
11	2.074	2.074	-401, 400
12	2.061	2.062	-123, 023
3	2.033	2.035	040
3	2.009	2.010	-411, 410
4	1.975	1.977	140
7	1.951	1.953	203
5	1.944	1.945	123
11	1.921	1.920	-402
3	1.867	1.869	-412, 411
25	1.849	1.848	-421, 420
1	1.826	1.827	240
1	1.782	1.782	-332
7	1.756	1.757	-142
4	1.736	1.737	-422, 421
5	1.693	1.693	-403, 402
5	1.658	1.658	-413
5	1.627	1.626	510
2	1.323	1.323	601
		1.322	-161
2	1.309	1.309	620

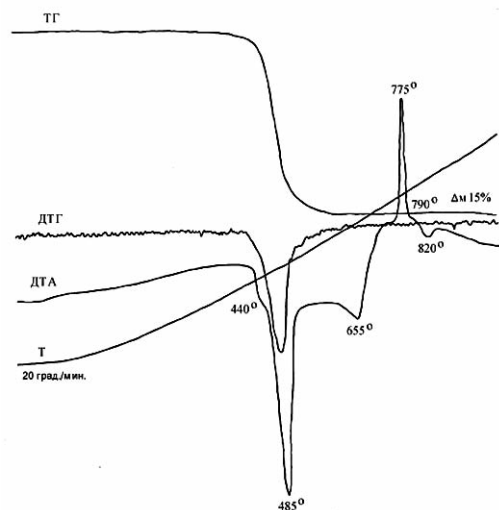


Рис. 5. Дериватограмма ярандолита. Термоанализатор «Термофлекс», навеска 30 мг, $T_{\text{max}} \sim 1000^\circ\text{C}$

Очевидно, только последняя ОН-группа может замещаться Cl без значительных энергетических затрат, необходимых для разрыва водородной связи. Отсутствие полос в диапазоне $1500 - 1700 \text{ cm}^{-1}$ свидетельствует об отсутствии молекул H_2O в структуре ярандолита.

На термограмме ярандолита (термический анализ выполнен Р.Н.Юдиным, скорость нагрева $20^\circ/\text{мин.}$, рис. 5) четко проявились три эндотермических эффекта; первый — с раздвоенным пиком с двумя неравнозначными максимумами: менее значительным — при 440°C и более резким — при 485°C ; эта реакция сопровождается соответствующим минимумом на кривой ДТГ, а также большим уступом на термогравиметрической кривой, фиксирующим потерю массы около 15%. Второй эндотермический пик — менее выраженная эндотермическая реакция, характеризующаяся выположенным пиком с максимумом при 655°C на кривой ДТА, не сопровождается потерей массы. Третий эндотермический эффект имеет максимум при 820°C . По-видимому, первая наиболее ярко выраженная эндотермическая реакция связана с дегидроксилированием. Общая потеря массы при термическом анализе (около 15%) полностью относится к этой эндотермической реакции и близка содержанию H_2O в минерале, определенному химическим анализом (13.36%). Эндотермическая реакция, характеризующаяся выположенным пиком с максимумом при 655°C , по-видимому, обусловлена некоторыми структурными изменениями минерала, в то время как эндотермический пик при 820°C фиксирует его плавление. Кроме эндотермических реакций, на термограмме ярандолита ярко выражена экзотермическая реакция с максимумом при 775°C , очевидно связанная с так называемой боратовой перегруппировкой, т.е. перестройкой кристаллической структуры, что свойственно большинству водных боратов при повышенных температурах.

Химический состав

Химический состав ярандолита изучен методом мокрого химического анализа С.П. Пурусовой образца этого минерала, предварительно исследованного физическими, оптическими и рентгеновскими методами. Содержания основных компонентов равны (мас. %): Na_2O 0.05, K_2O 0.07, CaO 30.56, MgO 0.02, MnO 0.01, Fe_2O_3 0.20, Al_2O_3 0.03, SiO_2 0.20, B_2O_3 55.44, Cl 0.21, H_2O 13.36, $-\text{O}=\text{Cl}_2 - 0.05$, сумма 100.10. Эмпирическая формула ярандолита, рассчитанная на 3 атома (B + Si): $\text{Ca}_{1.02}(\text{B}_{2.99}\text{Si}_{0.01})\text{O}_{4.125}(\text{OH})_{2.79}\text{Cl}_{0.01}$ (учи-

тивались только компоненты с содержанием >0.005 атома на формулу). Упрощённая формула: $\text{Ca}(\text{B}_3\text{O}_4)(\text{OH})_3$. Сходимость по критерию Гладстоуна-Дейла хорошая:

$$1 - (K_p/K_c) = -0.003 \text{ («Superior»)} \text{ для } D_{\text{выч}};$$

$$1 - (K_p/K_c) = -0.037 \text{ («Excellent»)} \text{ для } D_{\text{изм}}$$

Рентгенографическое и рентгеноструктурное исследование

Рентгенографическое и рентгеноструктурное исследование ярандолита выполнено Н.А. Ямновой, Ю.К.Егоровым-Тисменко и Д.Ю.Пуцаровским (1994). Для рентгеноструктурного анализа был отобран монокристалл с линейными размерами $0.450 \times 0.300 \times 0.250$ мм. Размеры и симметрия моноклинной (лауэ-класс $2/m$) элементарной ячейки ярандолита: $a = 8.386(3)$, $b = 8.142(4)$, $c = 7.249(3)$ Å, $\beta = 98.33(3)^\circ$, $V = 489.7$ Å³, — определены методом лауэ-качания и уточнены на автоматическом дифрактометре P1 Syntex ($\text{Mo}_K\alpha$ -излучение, плоский графитовый монохроматор). Пространственная группа $P2_1/a$. Рентгенограмма порошка (табл. 1) хорошо индицируется на основе найденных параметров элементарной ячейки.

Структура минерала решена прямым методом по программе MULTAN до g -фактора 0,035 и в полном виде рассмотрена в статье (Ямнова и др., 1994). Ей соответствует структурная формула ярандолита $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]$ ($Z = 4$, рентгеновская плотность 2.54 г/см³).

Основу кристаллической структуры ярандолита составляют параллельные (001) гофрированные слои-стенки из объединенных по общим O -вершинам центросимметричных пар Ca -полиэдров. Стенки переложены вытянутыми вдоль оси b элементарной ячейки боро-кислородными лентами колеманитового типа $[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]$, образованны тетраэдрами двух типов, $\text{VO}_2(\text{OH})_2$ и $\text{VO}_3(\text{OH})$, и треугольными группами VO_3 . Однако в отличие от колеманита в структуре ярандолита кольца как бы завиты вокруг винтовой оси 2_1 . Различна и архитектура катионных построек: бесконечные вдоль оси a элементарной ячейки ленты из центросимметричных пар Ca -восьмивершинников в колеманите в ярандолите объединяются в слои-стенки. Как отмечалось выше, две из трёх гидроксильных групп образуют прочные водородные связи.

Ярандолит структурно и химически близок к колеманиту $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($P2_1/a$, $a = 8.743$, $b = 11.264$, $c = 6.102$ Å, $\beta = 110.115^\circ$, $Z = 4$), который отличается от ярандолита оптическими константами ($n_p = 1.586$, $n_m = 1.592$, $n_g = 1.614$, $2V = 125^\circ$), оптическим знаком, плотностью ($D = 2.54$ г/см³) и другими характеристиками.

Эталонный образец ярандолита передан на хранение в Минералогический музей РАН имени А.Е.Ферсмана, г.Москва (ре-гистр. № 1538/1).

Авторы пользуются случаем выразить благодарность за участие в изучении нового бората С.П.Пурусовой, Е.Г.Рябевой, Р.Н.Юдину, Г.К.Кривоконовой, Е.И. Варфаломеевой, а также Е.А.Обрадович за любезное содействие данному исследованию.

Ведущая роль в исследовании нового бората принадлежала крупному специалисту в минералогии борных месторождений С.В. Малинко (1927 — 2002) и завершение этой работы мы посвящаем её памяти.

Литература

- Малинко С.В., Аничич С., Йоксимович Д., Ли-сицын А.Е., Дорохова Г.И., Ямнова Н.А., Власов В.В., Озол А.А. Студеницит $\text{NaCa}_2[\text{B}_9\text{O}_{14}(\text{OH})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — новый борат из Сербии, Югославия // Записки ВМО. 1995. в. 3. с. 57—64.
- Ямнова Н.А., Егоров-Тисменко Ю.К., Малинко С.В., Пуцаровский Д.Ю., Дорохова Г.И. Кристаллическая структура нового природного кальциевого гидробората $\text{Ca}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3]$ // Кристаллография. 1994. Т. 39. Вып. 6. С.991—993.
- Ямнова Н.А., Егоров-Тисменко Ю.К., Пуцаровский Д.Ю., Малинко С.В., Дорохова Г.И. Кристаллическая структура нового природного Na,Ca -гидробората $\text{NaCa}_2[\text{B}_9\text{O}_{14}(\text{OH})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ // Кристаллография. 1993. Т. 38. Вып. 6. С.71—76.
- Canadian Mineralogist. 1996. Vol. 34. № 3. P. 687.
- Djuric', S., Tanuic', P., Stojanovic', D., Potkonjak, B., Radukic', G. Crystallographic data for Sribanite, new boron mineral from Ibar Valley, Serbia, Yugoslavia // II Конф. Српског Кристаллографског Друштва. Изводи радова / II Conference of the Serbian Crystallographic Society, Sep. 1993, Abstracts II. — Beograd. 1993. P. 46 (in Serbian and English).
- Obrovic' J., Stamatakis M.G., Anicic' S., Economou G.S. Borate and borosilicate deposits in the miocene Jarandol basin, Serbia, Yugoslavia // Econ. Geol. 1992. Vol.87. P.2169—2174.
- Stojanovic' D. Sribjanite — novi kalcijum borat hidroksid, $\text{CaB}_3\text{O}_4(\text{OH})_3$ // I Конф. Српског Кристаллографског Друштва. Изводи радова / I Conf. of the Serbian Crystallographic Soc. Abstracts I. — Beograd. 1992. P. 32—33 (in Serbian and English).
- Stojanovic' D., Radukic' G., Radovic' R. Associated boron minerals in Baljevac Basin, Serbia