

Толстых Н. Д., Кривенко А. П., Батулин С. Г. Особенности состава самородной платины из различных ассоциаций минералов элементов платиновой группы // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 3. С. 39—46.

Толстых Н. Д., Кривенко А. П., Нестеренко Г. В. Платиновая минерализация в россыпях Алтае-Саянской складчатой области / Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1995. С. 76—87.

Толстых Н. Д., Ланухов А. С., Кривенко А. П., Лазарева Е. В. Минералы элементов платиновой группы в золотоносных россыпях Северо-Западного Салаира // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 6. С. 916—925.

Cabri L. J. The platinum-group minerals / The geology, geochemistry, mineralogy and mineral beneficiation of the platinum-group minerals. Canadian Institute of mining, metallurgy and petroleum, 2002. Special vol. 54. P. 13—129.

Harris D., Cabri L. J. The nomenclature of the natural alloys of osmium, iridium and ruthenium based on new compositional data of alloys from world-wide occurrences // Canad. Miner. 1973. Vol. 12. P. 104—112.

Harris D., Cabri L. J. Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision // Canad. Miner. 1991. Vol. 29. P. 231—237.

Поступила в редакцию
15 октября 2003 г.

УДК 549.742

ЗВМО, № 6, 2004 г.
Zapiski VMO, N 6, 2004

© Д. члены А. А. КОНЕВ,* П. М. КАРТАШОВ,** А. А. КОНЕВА,*** З. Ф. УЩАПОВСКАЯ,*
Н. В. НАРТОВА*

Mg ДЕФИЦИТНЫЙ СТРОНЦИЕВЫЙ БЕНСТОНИТ ИЗ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ БИРАЯ (СИБИРЬ)

A. A. KONEV, P. M. KARTASHEV, A. A. KONEVA, Z. F. USHCHAPOVSKAYA, N. V. NARTOVA.
Mg-DEFICIENT STRONTIUM BENSTONITE FROM THE ORE OCCURRENCE BIRAYA (SIBERIA)

* Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128;
e-mail: annak@igc.irk.ru

** ИГЕМ РАН, 109017, Москва, Старомонетный пер., 35

*** Институт геохимии СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1-а

For the first time, there is characterized the Mg-deficient strontium benstonite from Birainskoye occurrence (in Irkutsk region), where the mineral occurs as an accessory one in host fenites, but makes up to 35 % in composition of some hydrothermal veins. Chemical composition of benstonite itself is considerably varying, it allows to distinguish five its varieties, and two among them are represented in veins as the main minerals: $(\text{Ba}_{3.25}\text{Sr}_{2.75})_{6.00}(\text{Ca}_{5.42}\text{Sr}_{0.36}(\text{La}_{0.13}\text{Ce}_{0.07}\text{Pr}_{0.01}\text{Nd}_{0.01})_{0.22})_{6.00}(\text{Ca}_{0.50}\text{Mg}_{0.33}\text{Fe}_{0.05}\text{Mn}_{0.02})_{0.90}[\text{CO}_3]_{13}(\text{Ba}_{4.20}\text{Sr}_{1.80})_{6.00}(\text{Ca}_{5.74}\text{Sr}_{0.24}\text{La}_{0.02})_{6.00}(\text{Mg}_{0.51}\text{Ca}_{0.29}\text{Fe}_{0.09}\text{Mn}_{0.04})_{0.93}[\text{CO}_3]_{13}$. The standard and Mg-free benstonite and its varieties with Sr prevailing over Ba are developed in minor and accessory amounts. Optical constants and physical data for Mg-deficient strontium benstonite: density 3.56 (1) g/cm³; $N_o = 1.687$ (1); $N_e = 1.526$ (5); the strongest X-ray powder diffraction lines [d in Å (hkl): 3.08 (100) (312); 3.03 (20) (330); 3.17 (12) (050); 2.12 (12) (621); 3.89 (10) (131); 2.53 (10) (250)]. Unit cell parameters: $a = 18.21$ (0.01) Å; $c = 8.67$ (0.01) Å; $V = 2491$ (4) Å³. IR spectra and thermogravimetric curves are the same as the standard ones. Unlike the Murunsky strontium benstonite which doesn't contain Mg but is enriched in Ca, the Birainsky Mg-deficient benstonite is characterized by the normal Ca contents.

Бенстонит был открыт более 40 лет назад на бариевом месторождении в районе Хот Спрингс в Арканзасе (Lippmann, 1962), а затем отмечался в скарнах Лонгбана в Швеции (Sundius, 1963), в штате Иллинойс, США (White e. a., 1970), в карбонатитах массива Амба-Донгар в Индии (Semenov e. a., 1971) и в ряде свинцово-цинковых месторождений в СССР, Шотландии, Канаде, Намибии (Finlow-Bates, 1987). Особая стронциевая разновидность бенстонита найдена на Мурунском щелочном массиве (Воробьев, Алексеев, 1981; Борисов, 1985; Онтгов и др., 1986). Похожий, но не идентичный бенстонит найден

нами на рудопроявлении Бирая — он и является предметом нашего рассмотрения. Х. Эффенбергер (Effenberger, 1979) доказала особую позицию магния в структуре минерала, и с тех пор его формулу стали писать как $Ba_6Ca_6Mg(CO_3)_{13}$. Считается, что Mg стабилизирует кальцитовую суперструктуру минерала. В мурунском бенстоните практически нет магния и кальцитовую суперструктуру, видимо, стабилизирует стронций, как это имеет место в альстоните (Scheetz, White, 1977). Рассматриваемый нами минерал также является стронциевым и находится вблизи 50 % границы, за которой стронций преобладает над барием и начинается поле составов нового минерального вида $Sr_6Ca_6Mg(CO_3)_{13}$, и часть анализов уже находится за этой условной границей. Следует подчеркнуть, что на бираинском рудопроявлении отмечен также бенстонит стандартного состава (Воробьев, Конев, 1999).

УСЛОВИЯ НАХОЖДЕНИЯ БЕНСТОНИТА

На Бираинском редкометалльно-редкоземельном рудопроявлении, расположенном на Витимо-Патомском нагорье (Черников и др., 1994а, б; Конев и др., 1994), в ореоле линзовидных тел карбонатитов среди фенитизированных сланцев развиты тонкие жильные тела силикатно-карбонатных пород, обогащенных стронцием, барием и редкими землями.

Одно из таких тел мощностью до 3 см имеет зональное строение. Центральная оранжево-желтая часть сложена норсетит-ферродоломит-кальцитовым агрегатом и окружена белыми зальбандами. Описываемый бенстонит наряду с доломитом и кальцитом является главным минералом зальбандовых частей жилы, составляя около 35 % их объема. Различие в окраске центральной и краевых частей жилы, по-видимому, объясняется различием в количестве и железистости доломита. Но главное отличие центральной части от краевых в том, что вместо бенстонита здесь развит норсетит $BaMg[CO_3]_2$. В целом в описываемой жильной породе кроме уже упомянутых породобразующих карбонатов диагностированы также стронцианит, баритокальцит, карбоцернаит, кордилит-(Ce), дациншанит-(Ce), кухаренкоит-(Ce), натриевый актинолит, барит, монацит-(Ce), ферриалланит-(Ce) и ниобиевый чевкинит-(Ce).

Известен коренной выход другой жилы с бенстонитом, залегающей субвертикально в фенитах (рис. 1). Эта жила имеет минеральный состав, практически идентичный описанному выше, только вместо ниобиевого чевкинита концентраторами ниобия являются магнезиальный ферроколумбит и фергусонит-(Ce); кроме того, здесь не встречен карбоцернаит. Данная жила не имеет столь четкой зональности, как предыдущая, однако ее центральная часть также заметно обогащена оранжевым ферродоломитом и кальцитовые краевые части соответственно осветлены. Для удобства мы присвоим этим двум жилам номера 1 и 2. Сами жилы находятся на расстоянии 40—50 м друг от друга.

Химический состав зальбандовой бенстонитовой породы из жилы 1 и породы с норсетитом из центральной части этой жилы приведен в табл. 1. Из данных таблицы следует, что центральная часть жилы с норсетитом заметно богаче краевых зон железом и магнием, но беднее стронцием, барием и редкими землями.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БЕНСТОНИТА

Химический состав бенстонита приведен в табл. 2. Здесь же для сравнения приводятся результаты анализа эталонного бенстонита из Арканзаса. В основном химический состав бираинского бенстонита изучался в ИГЕМ РАН, где было выполнено 18 микрозондовых анализов из двух описанных выше жил. Ранее уже анализировался бенстонит с Бираи, но он был отмечен в аксессуарных количествах среди продуктов распада ранних карбонатов, включенных в зерна пироксенов и амфиболов в фенитах (Воробьев, Конев, 1999) (табл. 2, ан. 8). Как видно в табл. 2, бенстонит на Бирае весьма разнообразен — можно выделить пять его разновидностей: 1) стандартного состава



Рис. 1. Жила 2 — порода с кухаренкоитом-(Ce) и бенстонитом среди фенитов (обрн. 603-3).

Fig. 1. Vein 2 (outcrop 603-3) — benstonite bearing rock with kuharenkoite-(Ce) within fenites.

ва (ан. 8); 2) с пониженным содержанием магния и закисного железа (ан. 5); 3) с низким содержанием магния и закисного железа (ан. 1); 4) с полным отсутствием магния и закисного железа (ан. 6); 5) среди бенстонитов с низким содержанием магния наблюдаются разновидности с преобладанием стронция над барием (ан. 3, 4). Бенстонит Бирай вообще характеризуется высокими содержаниями оксида стронция (10—20 мас.%) и лишь в разновидности из включений в пироксенах и амфиболах определено всего 3.5 % SrO. Наконец, следует отметить, что бенстониты нередко несут заметную примесь редкоземельных элементов (суммарно до 3.5 мас.%). Последнее не удивительно, так как в парагенезисе с бенстонитом, часто пронизывая его зерна сетью микропрожилков, весьма часто развиты редкоземельные карбонаты (дациншанит, кордилит и кухаренкоит).

Очень интересно сравнить описываемый бенстонит со стронциевым бенстонитом с Мурунского массива (табл. 2), в котором практически отсутствует магний, а содержание оксида стронция весьма высокое, хотя и несколько меньшее, чем в некоторых

Таблица 1

Химический состав карбонатных пород с бенстонитом (1) и норсетитом (2)
Chemical composition of carbonate rocks with benstonite (1) and norsethite (2)

Компонент	1	2	Компонент	1	2
SiO ₂	9.79	2.16	P ₂ O ₅	0.72	1.35
TiO ₂	0.08	0.07	H ₂ O	0.90	0.44
Al ₂ O ₃	0.54	0.40	CO ₂	23.37	31.19
Fe ₂ O ₃	1.89	7.16	SO ₃	2.60	1.72
FeO	2.22	5.90	F	0.30	0.07
MnO	0.16	0.49	SrO	8.73	2.66
MgO	3.81	10.07	BaO	17.41	10.37
CaO	19.13	20.98	Tr ₂ O ₃	7.36	3.96
Na ₂ O	0.61	0.17	Сумма	99.59	99.77
K ₂ O	0.10	0.66			

Примечание. 1 — мелко-среднезернистая бенстонитовая порода (обр. 603-2-2), 2 — мелкозернистая порода желтовато-коричневого цвета с норсетитом (обр. 603-2-1). Аналитики Ю. И. Сизых, М. М. Смагунова, ИЗК СО РАН.

Химические составы бенстонитов Биран (1–8), Арканзаса (9) и Муруна (10)
 Chemical compositions of benstonites from Biraya (1–8), Arkansas (9) and Murun (10)

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MgO	0.74	0.35–1.03	0.78	0.68	1.13	0.69–1.79	0.0	1.83	1.80	0.02
MnO	0.07	0.0–0.27	0.0	0.0	0.18	0.0–0.49	0.0	0.17	0.90	0.03
FeO	0.20	0.0–0.54	0.0	0.27	0.35	0.0–0.64	0.0	0.70	0.30	0.05
CaO	18.62	18.13–19.84	17.99	18.18	18.73	17.61–19.49	22.96	17.90	20.40	23.14
SrO	18.04	16.82–19.75	19.61	20.49	11.71	8.92–15.28	9.87	3.58	4.00	10.11
BaO	27.91	26.75–29.76	25.29	25.79	35.67	32.65–39.41	33.18	45.40	41.10	32.00
La ₂ O ₃	1.14	0.0–1.87	0.97	1.36	0.16	0.0–1.14	0.62	—	—	—
Ce ₂ O ₃	0.62	0.0–1.31	1.05	0.98	0.0	0.0	0.70	—	—	—
Pr ₂ O ₃	0.08	0.0–0.55	0.78	0.0	0.0	0.0	0.21	—	—	—
Nd ₂ O ₃	0.10	0.0–0.69	0.55	0.0	—	—	—	—	—	—
CO ₂	32.05	31.83–32.31	31.88	32.23	31.70	31.53–32.11	32.35	31.13	—	33.00
Сумма	99.57	99.24–99.98	98.90	99.98	99.79	99.22–100.2	99.88	100.71	—	99.39
REE ₂ O ₃	1.70	0.0–3.02	3.35	2.34	0.16	0.0–0.14	1.52	—	—	0.12

Кристаллохимические формулы

- 1 — (Ba_{3.25}Sr_{2.75})_{6.00}(Ca_{5.42}Sr_{0.36}(La_{0.13}Ce_{0.07}Pr_{0.01}Nd_{0.01})_{0.22})_{6.00}(Ca_{0.50}Mg_{0.33}Fe_{0.05}Mn_{0.02})_{0.90}[CO₃]_{13.00}
 3 — (Sr_{3.04}Ba_{2.96})_{6.00}(Ca_{5.28}Sr_{0.36}(Ce_{0.11}Ce_{0.11}Pr_{0.08}Nd_{0.06})_{0.36})_{6.00}(Ca_{0.47}Mg_{0.35})_{0.82}[CO₃]_{13.00}
 4 — (Sr_{3.02}Ba_{2.98})_{6.00}(Ca_{5.25}Sr_{0.49}(La_{0.15}Ce_{0.11})_{0.26})_{6.00}(Ca_{0.50}Mg_{0.30}Fe_{0.07})_{0.87}[CO₃]_{13.00}
 5 — (Ba_{4.20}Sr_{1.80})_{6.00}(Ca_{5.74}Sr_{0.24}La_{0.02})_{6.00}(Mg_{0.51}Ca_{0.29}Fe_{0.09}Mn_{0.04})_{0.93}[CO₃]_{13.00}
 7 — (Ba_{3.83}Sr_{1.68}Ca_{0.49})_{6.00}Ca_{6.75}[CO₃]_{13.00}
 8 — (Ba_{5.44}Sr_{0.56})_{6.00}(Ca_{5.86}Sr_{0.07}Mn_{0.04})_{5.97}(Mg_{0.83}Fe_{0.18})_{1.01}[CO₃]_{13.00}
 9 — (Ba_{4.87}Sr_{0.70}Ca_{0.42})_{5.99}Ca_{6.00}(Mg_{0.80}Ca_{0.20})_{1.00}[CO₃]_{13.00}
 10 — (Ba_{3.68}Sr_{1.71}Ca_{0.61})_{6.00}Ca_{6.64}[CO₃]_{13.00}

Примечание. 1 — среднее из 7 микронзондовых анализов; 2 — пределы колебаний; 3, 4 — бенстониты с преобладанием Sr над Ba; 5 — среднее из 7 микронзондовых анализов; 6 — пределы колебаний; 7 — среднее из 3 микронзондовых анализов (ан. 1–4 из жилы 1; 5–7 — из жилы 2); ан. 1–7 выполнены в ИГЕМ РАН; CO₂ вычислено по катионам; 8 — микронзондовый анализ (Воробьев, Конев, 1999); 9 — бенстонит из Арканзаса (Lippman, 1962); 10 — бенстонит с Муруна (Онтоев и др., 1986) (в анализе приведены также незначительные содержания оксидов кремния, титана, алюминия, натрия, калия, редких земель, воды и серы).

образцах бенстонита с Бираи. При этом соответственно содержание кальция в минерале с Муруна заметно выше.

Пересчет анализов на формулы (табл. 2) проведен на 26 отрицательных зарядов. Как видно в табл. 2, породообразующий бенстонит с Бираи отличается от минерала из Арканзаса повышенным содержанием оксида стронция и более низким — магния. В то же время микровключения акцессорного бенстонита в различных силикатах фенитов имеют стандартный состав. Не исключено, что в ходе эволюции рудопроявления такие микровключения бенстонита могли перераспределяться, концентрироваться и формировать жилы, резко обогащенные этим минералом. При этом состав бенстонита мог изменяться в соответствии с локальными концентрациями минералообразующих компонентов (Ba, Sr, Ca, Mg).

Следует отметить, что в обеих бираинских жилах бенстонит в пределах каждой жилы не остается неизменным по своему составу. Так, в жиле 1 весь бенстонит дефицитен в отношении содержания в нем Mg и очень богат стронцием. При этом в двух анализах в самых крупных кристаллохимических позициях структуры минерала стронций преобладает над барием, поэтому они и выделены в табл. 2 и не включены в средний состав. По сути, они представляют новый минеральный вид $(Sr, Ba)_6(Ca, Sr)_6(Ca, Mg)[CO_3]_{13}$, но пока еще нет данных для его полной характеристики и утверждения в КНММ ММА. В минерале жилы 2 наблюдаются свои особенности состава — лишь незначительная часть бенстонита совершенно лишена магния и железа, тогда как большая часть имеет довольно высокое их содержание. Можно сказать, что по составу они занимают промежуточное положение между породообразующим бенстонитом жилы 1 и акцессорным бенстонитом из фенитов. Промежуточным в них является и содержание стронция.

На растровых изображениях, полученных в режиме СОМРО, обнаруживаются весьма сложные взаимоотношения между разновидностями бенстонита (рис. 2), но в обоих образцах заметно преобладают основные типы этого минерала.

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Довольно полный обзор оптических и физических свойств бенстонита из разных месторождений приведен в работе Д. О. Онтоева с соавторами (1986), поэтому у нас нет необходимости повторять эти данные вновь. Лишь иногда мы будем приводить их для сравнения. По существу здесь представляются свойства в основном лишь одной главной разновидности бенстонита с Бираи — из обр. 603-2-2 (жила 1), которая была более детально изучена.

Бенстонит развит в мелких пластинчатых, несколько изогнутых кристаллах молочно-белого цвета со стекляннм блеском. Плотность минерала $3.56 (1) \text{ г/см}^3$ (измерена в жидкости Клеричи), т. е. немного более низкая, чем приводится в справочнике (Флейшер и др., 1987), — $3.58\text{—}3.60 \text{ г/см}^3$, и заметно более высокая, чем дается Д. О. Онтоевым для мурунского минерала, — 3.38 г/см^3 . Можно было бы полагать, что это связано с замещением бария более легким стронцием, однако бенстонит из Индии также имеет сравнительно низкую плотность 3.41 г/см^3 , хотя содержание стронция в нем такое же, как и в арканзасском минерале. Однако в нем наблюдается пониженное содержание бария и высокое — кальция. Эти зависимости еще недостаточно изучены.

Оптические константы бенстонита стандартны — минерал одноосный, отрицательный; $N_o = 1.687 (1)$, $N_e = 1.526 (5)$.

Рентгенометрические данные. В табл. 3 приведены межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки бенстонитов с Бираи, Арканзаса и Муруна. Как видим, имеются различия в порошкограммах всех трех минералов, однако вычисленные параметры ячейки близки друг к другу. При одинаковом параметре c минералы различаются по a — максимальная его величина у бенстонита из Арканзаса, а минимальная — у минерала с Бираи. Однако в целом говорить о какой-либо зависимости параметров ячейки от состава еще рано. Особенно заметны отличия порошкограммы му-

