

УДК 549.74(470.55)+552.331.4

**КАРБОНАТЫ РЗЭ, Ва, Sr и Na В МИАСКИТАХ
ИЛЬМЕНОГОРСКОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Е.П. Макагонов, В.А. Котляров

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс; mak@mineralogy.ru

**REE, Ba, Sr and Na CARBONATES IN MIASKITES
OF THE ILMENOGORSKY BLOCK (SOUTH URALS)**

E.P. Makagonov, V.A. Kotlyarov

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass; mak@mineralogy.ru

В миаскитах Ильменогорского массива (Южный Урал) установлены карбонаты РЗЭ, Ва, Sr и Na – анкилит-(Ce), баритокальцит, бурбанкит, давсонит, стронцианит, эвальдит. Баритокальцит, бурбанкит, давсонит и эвальдит в Ильменогорском миаскитовом массиве установлены впервые. Состав минералов (микрозонд, мас. %): анкилита-(Ce) – SrO 18.1–19.7, CaO 1.24–2.52, оксидов РЗЭ 47.41–50.53; баритокальцита – CaO 18.18–19.10, BaO 51.38–52.06; бурбанкита – Na₂O 10.35–15.44, CaO 2.41–10.93, SrO 14.8–41.3, BaO 0–9.76, оксидов РЗЭ 1.16–18.65, примеси Y, K, Fe; давсонита – Al₂O₃ 38.50, Na₂O 19.76; стронцианита – SrO 66.79, CaO 2.92; эвальдита – BaO 36.10–36.84, SrO 8.55–8.88, Na₂O 5.51–5.84, CaO 4.94–5.11, Y₂O₃ 8.41–8.80, примеси Dy, Gd, Er, Th. Набор карбонатов РЗЭ, Na, Ba и Sr типоморфен для щёлочно-карбонатитовых комплексов. Формы нахождения и парагенезис карбонатов в миаскитах указывают на формирование в заключительные стадии эволюции щелочного комплекса с участием растворов водно-углекислого состава.

Илл. 6. Табл. 4. Библ. 10.

Ключевые слова: анкилит-(Ce), баритокальцит, бурбанкит, давсонит, стронцианит, эвальдит, Ильменогорский массив.

The REE, Ba, Sr and Na carbonates (ankilite-(Ce), barytocalcite, burbankite, dawsonite, strontianite and ewaldite) were identified in miaskites of the Ilmenogorsky block (South Urals). Barytocalcite, burbankite, dawsonite and ewaldite were found for the first time in the Ilmenogorsky miaskite block. The chemical composition of the minerals is as follows (wt. %): ankilite-(Ce) – SrO 18.1–19.7, CaO 1.24–2.52, REE oxides 47.41–50.53 (La/Ce ratio 0.40–1.00); barytocalcite – CaO 18.18–19.10, BaO 51.38–52.06; burbankite – Na₂O 10.35–15.44, CaO 2.41–10.93, SrO 14.8–41.3, BaO 0–9.76, REE oxides 1.16–18.65 (La/Ce ratio 0.57–1.04), traces of Y, K, Fe; dawsonite – Al₂O₃ 38.50, Na₂O 19.76; strontianite (average of 11 analyzes) – SrO 66.79, CaO 2.92; ewaldite – BaO 36.10–36.84, SrO 8.55–8.88, Na₂O 5.51–5.84, CaO 4.94–5.11, Y₂O₃ 8.41–8.80, traces of Dy, Gd, Er, Th. The composition of carbonates is typical of those from alkaline carbonatite complexes. The morphology and assemblages of carbonates in miaskites indicate their formation at the final stages of evolution of the alkaline complex with participation of aqueous-carbonic fluid.

Figures 6. Tables 4. References 10.

Key words: ankilite-(Ce), barytocalcite, burbankite, dawsonite, strontianite, ewaldite, Ilmenogorsky miaskite massif.

Введение

Геологическое строение и петрографический состав Ильменогорского миаскитового массива приведены в ряде публикаций (Левин и др., 1977; Макагонов и др., 2003; и др.). Этот массив вместе с Вишневогорским миаскитовым массивом объединены в щёлочно-карбонатитовый комплекс (Левин и др., 1977). Массивы расположены на противоположных концах субмеридиональной щелочной полосы, которая приурочена к Сысертско-Ильменогорской антиклинорной структуре Восточно-Уральского поднятия и прослеживается в субмеридиональном направлении на 120 км. В этом комплексе особую группу составляют силикатно-карбонатные и карбонатные породы.

Для подобных комплексов характерны карбонаты редких земель, натрия, бария и стронция. Ильменогорский массив отличается от Вишневогорского массива меньшим развитием пегматитов и карбонатитов и менее масштабным проявлением редкометалльной минерализации. В Вишневогорском массиве насчитывается 12 минеральных видов карбонатов РЗЭ, Ва, Sr и Na (Попова и др., 2015). В Ильменогорском массиве подобные карбонаты до 2008 г. не были известны. За последнее десятилетие в Ильменогорском массиве установлены анкилит-(Ce), бастнезит-(Ce), карбоцернаит, стронцианит, синхизит-(Ce) (Макагонов, Котляров, 2008; Чередниченко и др., 2014). При дополнительном исследовании керна Ильменской структурной скважины С-2000, заложенной в южной части Ильменогорского миаскитового массива (на восточном берегу оз. Ильменского) и вскрывшей его на глубинах 400–2000 м, обнаружены новые для этого массива карбонаты: баритокальцит бурбанкит, давсонит, эвальдит.

Методы исследования

Состав минералов изучался на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с энерго-дисперсионной приставкой LZ-5 при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 3×10^{-3} А (диаметр зонда ~ 5 мкм), аналитик В.А. Котляров. При проведении количественного анализа использовались стандарты чистых металлов (MICRO-ANALYSIS CONSULTANTWS LT, LTD, X-RAY MICROPROBE STANDARDS, REGISTERED STSNDARD NUMBER 1362; корунд и Y_2O_3) и стандарты синтетических (или природных) минералов (ASTIMEX SCI-

ETIFIC LIMITED, MINM 25-53, Mineral Mount Serial N0:01-044; $SrSO_4$ (№ 13), $BaSO_4$ (№ 5), монацит (№ 32) и tugtupite (№ 45).

Результаты исследования

В миаскитовых породах из керна структурной скважины С-2000, вскрывшей Ильменогорский миаскитовый массив на глубину 2000 м, кроме кальцита и сидерита, установлены карбонаты: анкилит-(Ce), баритокальцит, бурбанкит, давсонит, стронцианит, эвальдит.

Анкилит-(Ce) $Sr_xCe_{2-x}(CO_3)_2(OH)_{2-x} \cdot H_2O$ обнаружен в интенсивно цеолитизированных биотитовых миаскитах на глубинах 807.6 и 822.3 м. Выделения анкилита-(Ce) неправильной формы величиной до 30 мкм располагаются в трещинках и пустотах между микроклином, альбитом, нефелином и кальцитом. Ассоциирует с кальцитом, натролитом, пироксеном, ильменитом и другими минералами. Часто наблюдается в сростаниях с рабдофаном-(Ce) (рис. 1).

В составе изученного анкилита-(Ce) отмечается повышенное количество редкоземельных элементов (табл. 1). Отношение формульных коэффициентов La / Ce изменяется от 0.40 до 1.00. В отдельных зёрнах обнаружены примеси TiO_2 до 0.05 мас.% и FeO до 0.65 мас. %.

Ранее анкилит-(Ce) был обнаружен в нефелин-полевошпатовых и полевошпатовых пегматитах с линзами и жилами массивного карбонатита, залегающих в эндоконтакте Ильменогорского массива (Чередниченко и др., 2014).

Баритокальцит $BaCa(CO_3)_2$ в цеолитизированном миаските встречается в форме прожилковидных выделений и отдельных зёрен в кальците и анальците (рис. 2). Ассоциирует с бурбанкитом, эвальдитом, баритом, давсонитом, канкринитом, натролитом. Химический состав практически соответствует стехиометрическому (табл. 2). Примеси не обнаружены.

На глубине 1898.5 м наблюдаются удлинённые зёрна баритокальцита величиной до 30 мкм в синтаксическом сростании с кальцитом, которые располагаются на границе анальцита и барита, образуя агрегат шестоватой структуры первого рода (см. рис. 2б). Кальцит, находящийся в сростании с баритокальцитом, содержит (мас. %): FeO 0.02–0.29; MnO 0–1.56; SrO 0–0.58. Во включениях кальцита в барите (см. рис. 2б) эти примеси не обнаружены, но установлена примесь BaO 2.55 мас. %.

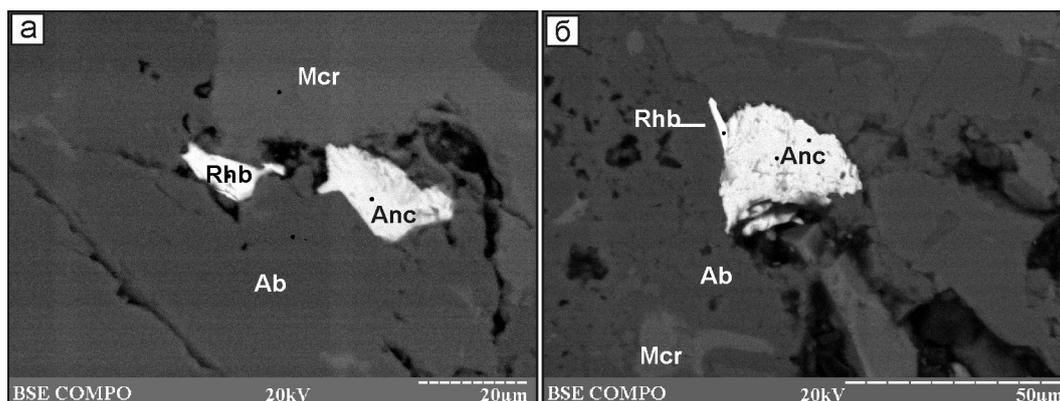


Рис. 1. Анкилит-(Ce) и рабдофан-(Ce) в полевых шпатах.

Anc – анкилит-(Ce), Rhb – рабдофан-(Ce), Ab – альбит, Mcr – микроклин.

Fig. 1. Ancilite-(Ce) and rhabdophane-(Ce) in feldspars.

Ab – albite, Anc – ancilite-(Ce), Mcr – microcline, Rhb – rhabdophane-(Ce).

Таблица 1
Химический состав анкилита-(Ce) (мас. %)
Table 1
Chemical composition of ancilite-(Ce) (wt. %)

Компоненты	1	2	3
SrO	19.46	18.10	19.72
CaO	1.64	1.24	2.52
La ₂ O ₃	19.23	19.76	10.10
Ce ₂ O ₃	24.38	25.54	24.62
Pr ₂ O ₃	2.18	2.29	3.56
Nd ₂ O ₃	2.89	2.94	9.13
TiO ₂	–	–	0.05
CO ₂ *	22.62	22.23	23.05
H ₂ O*	7.30	7.32	7.32
Сумма	99.70	99.42	100.07
Расчёт на 2 катиона			
1. (Sr _{0.73} Ca _{0.11}) _{0.84} (Ce _{0.58} La _{0.46} Nd _{0.07} Pr _{0.05}) _{1.16} (CO ₃) ₂ (OH) _{1.16} ·H ₂ O;			
2. (Sr _{0.69} Ca _{0.09}) _{0.78} (Ce _{0.62} La _{0.48} Nd _{0.07} Pr _{0.05}) _{1.22} (CO ₃) ₂ (OH) _{1.22} ·H ₂ O;			
3. (Sr _{0.73} Ca _{0.17}) _{0.90} (Ce _{0.57} La _{0.24} Nd _{0.21} Pr _{0.08}) _{1.10} (CO ₃) ₂ (OH) _{1.10} ·H ₂ O			

Примечание. CO₂* и H₂O* – расчёт.

Note. CO₂* and H₂O* – recalculated.

Бурбанкит Na₃(Sr,Ca,Ce)₃(CO₃)₅ (бербанкит) найден в крупнозернистых миаскитах, часто интенсивно цеолитизированных. Выделяются две морфологические разновидности. Бурбанкит-I образует включения до 5–50 мкм в микроклин, анальциме, натролите, а также находится в трещинках между микроклином, альбитом, натролитом. В ассоциации с бурбанкитом отмечаются кальцит, сидерит, барит, давсонит, стронцианит, канкринит, мусковит, ильменит. Чаще всего зёрна бурбанкита

Таблица 2
Химический состав баритокальцита (мас. %)
Table 2
Chemical composition of barytocalcite (wt. %)

Компоненты	1	2	3
CaO	18.18	18.92	19.10
BaO	52.06	51.38	51.53
CO ₂ *	29.21	29.59	29.78
Сумма	99.45	99.89	100.41
Расчёт на 2 катиона			
1 – Ba _{1.02} Ca _{0.98} (CO ₃) ₂ ;			
2 – BaCa(CO ₃) ₂ ;			
3 – Ba _{0.99} Ca _{1.01} (CO ₃) ₂			

Примечание. CO₂* расчёт.

Note. CO₂* – recalculated.

ксеноморфные, реже – частично огранённые, величиной до 20 мкм (рис. 3 а–б).

Средний химический состав ильменского бурбанкита (табл. 3) близок к среднему составу бурбанкита из Вишнёвых гор (Пеков и др., 1996). В химическом составе минерала сумма РЗЭ от нуля до 1.10 к.а.ф., Sr 0.97–2.53 к.а.ф. Соотношение La/Ce находится в интервале 0.57–1.04. В целом, состав бурбанкита изменяется в соответствии с классической схемой изоморфизма Na+РЗЭ ↔ Sr+Ca+Ba. Схема подтверждается положительными коэффициентами корреляции Na – РЗЭ (0.78–0.90) и Ca – Sr (0.69), а также значимыми отрицательными коэффициентами между элементами этих двух групп.

Бурбанкит из средних глубин массива обогащён натрием. Количество редких земель в нём в среднем больше в 2 раза, чем у бурбанкита из более глубоких горизонтов массива (см. табл. 3, ан. 1–4).

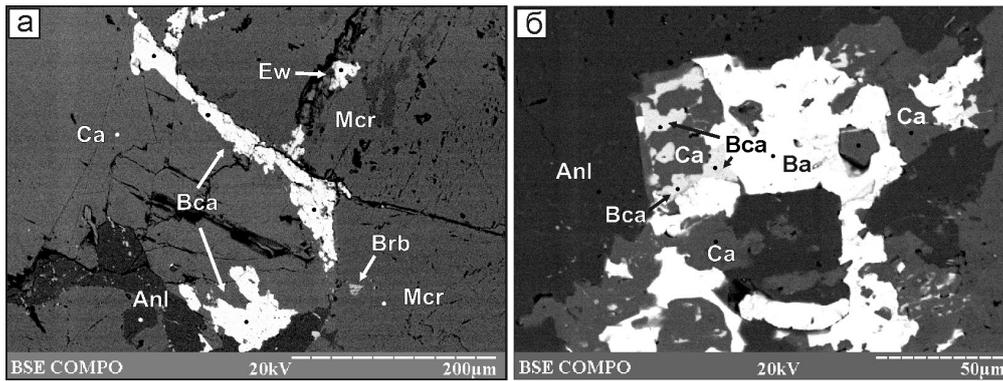


Рис. 2. Вростки баритокальцита в кальците (а) и сростки баритокальцита с баритом и кальцитом в анальциме (б). Anl – анальцим, Ba – барит, Bca – баритокальцит, Ca – кальцит, Brb – бурбанкит; Ew – эвальдит, Mcr – микроклин.

Fig. 2. Ingrowths of baritocalcite in calcite (a) and intergrowths of barytocalcite with barite and calcite in analcime (б). Anl – analcime, Ba – barite, Bca – barytocalcite, Ca – calcite, Brb – burbankite; Ew – ewaldite, Mcr – microcline.

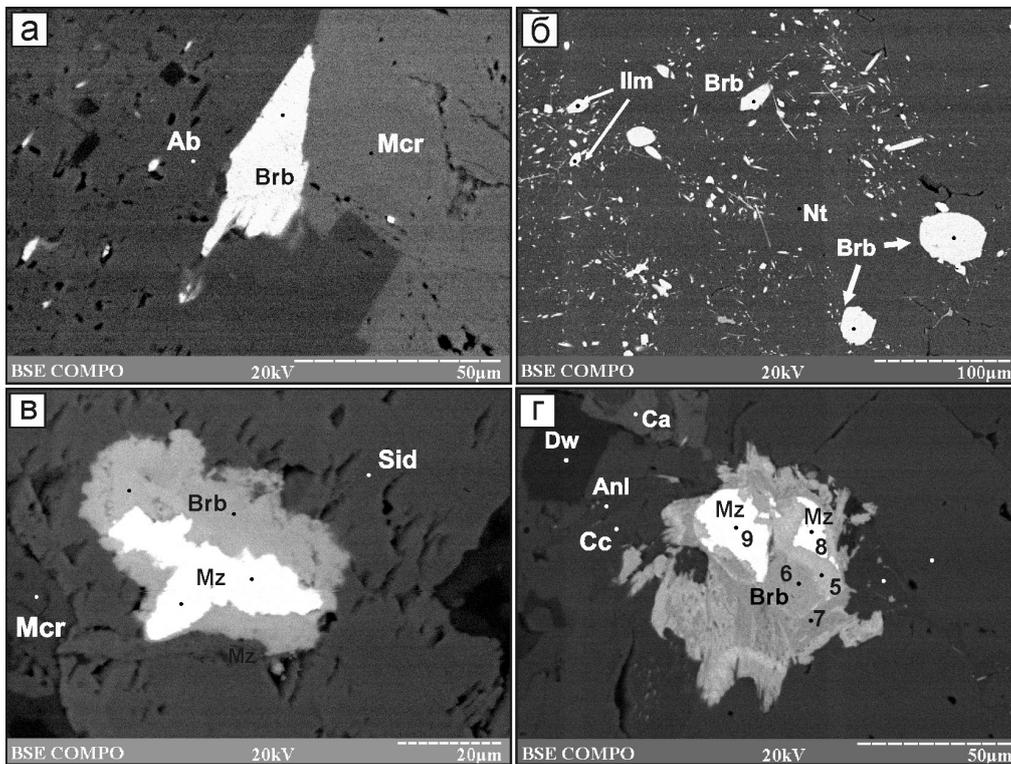


Рис. 3. Включения бурбанкита в полевых шпатах (а) и натролите (б) и частичная псевдоморфоза бурбанкита по монациту-(Ce) (в, г).

Anl – анальцим, Brb – бурбанкит, Ca – кальцит, Cc – канкринит, Dw – давсонит, Ilm – ильменит, Mcr – микроклин, Mz – монацит-(Ce), Nt – натролит, Sid – сидерит. Цифры соответствуют номерам анализов в табл. 3.

Fig. 3. Inclusions of burbankite in feldspars (а) and natrolite (б), and partial replacement of monazite-(Ce) by burbankite (в, г).

Numbers correspond to numbers of analyses in Table 3. Anl – analcime, Brb – burbankite, Ca – calcite, Cc – cancrinite, Dw – dawsonite, Ilm – ilmenite, Mcr – microcline, Mz – monazite-(Ce), Nt – natrolite, Sid – siderite.

Таблица 3

Химический состав бурбанкита (1–7) и монацита-(Ce) (8–9) (мас. %)

Table 3

Chemical composition of burbankite (1–7) and monazite-(Ce) (8–9) (wt. %)

Компоненты	1	2*	3*	4*	5	6	7*	8	9
CaO	2.41	8.91	9.51	8.89	4.18	8.55	10.93	0.24	0.18
BaO	–	3.47	3.93	3.85	9.76	0.80	1.29	–	–
SrO	29.50	32.92	31.74	31.04	14.80	27.1	41.03	–	–
Na ₂ O	15.44	11.51	11.25	11.76	12.49	10.91	10.35	–	–
K ₂ O	–	0.12	–	0.06	–	–	–	–	–
FeO	–	0.09	–	0.10	–	–	–	–	–
La ₂ O ₃	5.79	2.76	4.29	2.72	12.28	9.19	–	26.48	25.14
Ce ₂ O ₃	10.68	4.73	4.30	5.97	11.84	8.49	1.16	35.25	36.10
Pr ₂ O ₃	1.13	0.42	0.15	0.45	0.57	0.17	–	2.40	3.26
Nd ₂ O ₃	1.05	0.96	0.25	1.31	0.83	0.41	–	4.43	4.63
Y ₂ O ₃	–	–	0.43	–	1.28	0.88	–	–	–
CO ₂ **	34.46	34.06	33.90	34.04	31.22	32.66	34.71	–	–
P ₂ O ₅	–	–	–	–	–	–	–	30.34	29.79
Сумма	100.45	99.97	99.89	100.06	99.25	99.16	100.22	99.14	99.10
Количество анализов	3	14	5	24	1	1	1	1	1

Расчёт формул бурбанкита на 6 катионов (ан. 1–7), монацита – (PO₄) = 1 (ан. 8–9)

1. Na_{3.00}(Sr_{1.82}Ce_{0.42}Ca_{0.27}La_{0.23}Na_{0.18}Pr_{0.04}Nd_{0.04})_{Σ3.00}(CO₃)₅;
2. (Na_{2.41}Ca_{0.58}K_{0.01})_{Σ3.00}(Sr_{2.05}Ca_{0.44}Ce_{0.19}Ba_{0.14}La_{0.11}Nd_{0.04}Pr_{0.02}Fe_{0.01})_{Σ3.00}(CO₃)₅;
3. (Na_{2.37}Ca_{0.63})_{Σ3.00}(Sr_{1.93}Ca_{0.48}Ce_{0.24}Ba_{0.16}La_{0.11}Nd_{0.05}Pr_{0.02}Fe_{0.01})_{Σ3.00}(CO₃)₅;
5. (Na_{2.84}Ca_{0.16})_{Σ3.00}(Sr_{1.01}La_{0.53}Ce_{0.51}Ba_{0.45}Ca_{0.37}Y_{0.08}Nd_{0.03}Pr_{0.02})_{Σ3.00}(CO₃)₅;
6. (Na_{2.37}Ca_{0.63})_{Σ3.00}(Sr_{1.76}Ca_{0.40}La_{0.38}Ce_{0.35}Y_{0.05}Ba_{0.04}Nd_{0.01}Pr_{0.01})_{Σ3.00}(CO₃)₅;
7. (Na_{2.12}Ca_{0.88})_{Σ3.00}(Sr_{2.51}Ca_{0.36}Ba_{0.05}Ce_{0.04}Zr_{0.04})_{Σ3.00}(CO₃)₅;
8. (Ce_{0.50}La_{0.39}Nd_{0.06}Pr_{0.03}Ca_{0.01})_{Σ0.99}(PO₄);
9. (Ce_{0.52}La_{0.36}Nd_{0.07}Pr_{0.05}Ca_{0.01})_{Σ0.99}(PO₄);

Примечание.*В суммах анализов включены (мас. %): 2 – SiO₂ 0.01; 3 – ZrO₂ 0.15; 4 – SiO₂ 0.03; 7 – ZrO₂ 0.75.

**CO₂ – расчёт. Пробы С-2000 с глубины: 1 – 891.6 м; 2 – 1094.5 м; 3, 5–9 – 1250.3 м; 4 – 1898.5 м.

Note. *The analyses also contain: 2 – SiO₂ 0.01; 3 – ZrO₂ 0.15; 4 – SiO₂ 0.03; 7 – ZrO₂ 0.75. CO₂* and H₂O* – recalculated. Sample C-2000 from depth: 1 – 891.6 m; 2 – 1094.5 m; 3, 5–9 – 1250.3 m; 4 – 1898.5 m.

Бурбанкит–II образует тонкозернистые и лучистые псевдоморфозы по монациту (см. рис. 3в–г). Встречается совместно с бурбанкитом–I. Псевдоморфозы бурбанкита–II по монациту зональные. На контакте с монацитом в бурбанките–II содержится максимальное количество Na, PЗЭ, Ba (см. табл. 3, ан. 5). По мере удаления от контакта с монацитом содержание этих элементов резко уменьшается (см. табл. 3, ан. 6–7). Возрастает количество Sr и Ca. Из редкоземельных элементов быстрее уменьшается содержание Ce, а соотношение La/Ce, равное в монаците 0.70–0.75 (см. табл. 3, ан. 8–9), становится в бурбанките равным 1.04–1.08.

Давсонит NaAl(CO₃)(OH)₂ в цеолитизированных миаскитах наблюдается в виде включений до 20 мкм в натролите, кальците, канкрините. Ассоциирует с бурбанкитом, сидеритом, кальцитом и другими минералами (рис. 4). Химический состав давсонита (мас. %): Al₂O₃ 37.17; Na₂O 19.39; эмпи-

рическая формула на 2 катиона при расчётном количестве: CO₂ 29.81, H₂O 12.19 мас. % и общей сумме 98.56 мас. % имеет вид: Na_{0.92}Al_{1.08}(CO₃)(OH)₂. В Ильмено-Вишневогорском комплексе ранее давсонит был установлен во включениях в натролите из нодулярных карбонатитов Вишнёвых гор (Попов и др., 2008).

Стронцианит SrCO₃ ранее был обнаружен в миаскитах, вскрытых скважиной С-2000 на глубине 1781.8 м (Макагонов и др., 2008). В последнее время его выделения встречены и на более высоких горизонтах миаскитового массива – на 704.5 и 822.3 м. Выделения стронцианита размером до 0.1 мм приурочены к межзерновым промежуткам породообразующих минералов. Часто наблюдаются в виде включений микронных зёрен в кальците и анальциме (рис. 5).

Содержание оксидов в стронцианите (среднее из 11 анализов, мас. %): SrO 66.79; CaO 2.92.

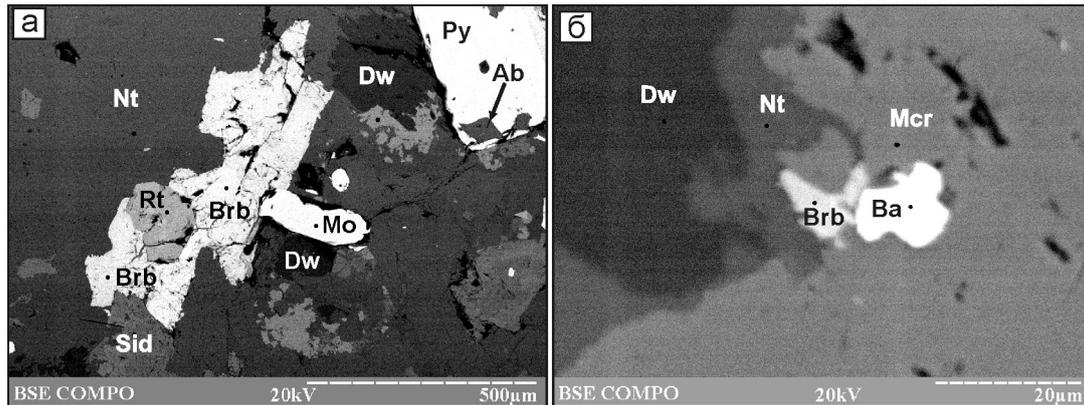


Рис. 4. Ассоциации давсонита в агрегатах цеолитов.

а – агрегаты натролита с давсонитом с включениями бурбанкита, сидерита, рутила и сульфидов; б – сростание давсонита с натролитом и включения бурбанкита с баритом в микроклине. Ab – альбит, Ba – барит, Brb – бурбанкит, Dw – давсонит, Mcr – микроклин, Mo – молибденит, Nt – натролит, Py – пирит, Rt – рутил, Sid – сидерит.

Fig. 4. Assemblages of dawsonite in zeolite aggregates.

а – aggregates of natrolite with dawsonite and inclusions of burbankite, siderite, rutile, and sulfides; б – intergrowth of dawsonite and natrolite and inclusions of burbankite and barite in microcline. Ab – albite, Ba – barite, Brb – burbankite, Dw – dawsonite, Mcr – microcline, Mo – molybdenite, Nt – natrolite, Py – pyrite, Rt – rutile, Sid – siderite.

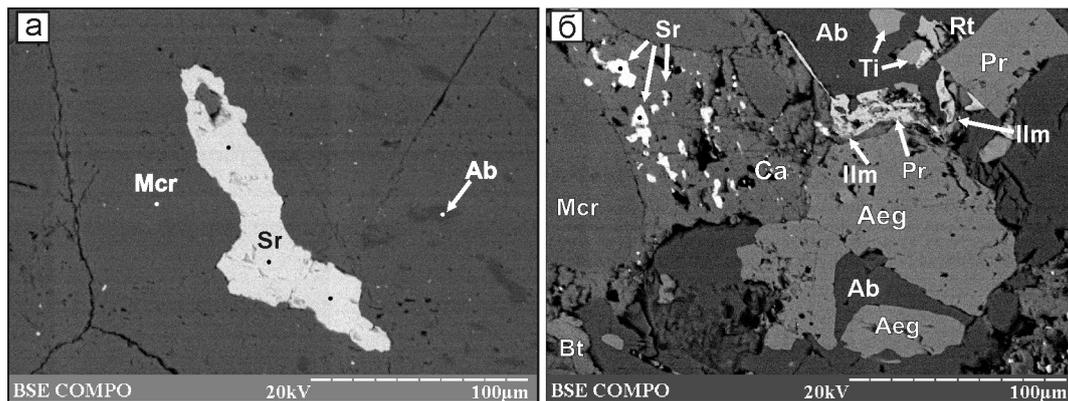


Рис. 5. Минеральная ассоциация стронцианита с полевым шпатом (а) и кальцитом (б).

Ab – альбит, Aeg – эгирин, Bt – биотит, Ca – кальцит, Ilm – ильменит, Mcr – микроклин, Pr – пирофанит, Rt – рутил, Sr – стронцианит, Ti – титанит.

Fig. 5. Mineral assemblage of strontianite with feldspar (a) and calcite (b).

Ab – albite, Aeg – aegirine, Bt – biotite, Ca – calcite, Ilm – ilmenite, Mcr – microcline, Pr – pyrophanite, Rt – rutile, Sr – strontianite, Ti – titanite.

При расчёте формулы на 1 катион вычисленное содержание CO_2 равно 30.66 мас. %. Общая сумма анализа равна 100.37 мас. %. Химический анализ соответствует кристаллохимической формуле $\text{Sr}_{0.93}\text{Ca}_{0.07}\text{CO}_3$. Формульный коэффициент при кальции изменяется в пределах 0.04–0.11 единиц. Минерал практически не содержит примесей, и лишь в одном из анализов определено MnO 0.04 мас. %.

Эвальдит $(\text{Ba}, \text{Sr})(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Y}, \text{Ce})(\text{CO}_3)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ встречен в керне скважины С-2000 в цеолитизированном среднезернистом миаските в виде вкраплений до 30 мкм в микроклине (на глубине

1250.3 м). На 1898.5 м выделения эвальдита размером до 220×160 мкм, состоящие из тонкозернистого агрегата и мелких кристалликов, располагаются между микроклином, альбитом и биотитом в амфибол-биотит-полевошпатовой породе с анальцитом, натролитом, кальцитом, баритокальцитом, бурбанкитом и другими минералами (рис. 6). Эти эвальдиты отличаются повышенным содержанием PЗЭ, Na, Sr, соотношение которых отвечает схеме изоморфизма $\text{Na} + \text{PЗЭ} \leftrightarrow \text{Sr} + \text{Ca} + \text{Ba}$ (табл. 4). По составу PЗЭ они близки к иттриевой разновидности, известной в Хибинах (Хомяков и др., 1982).

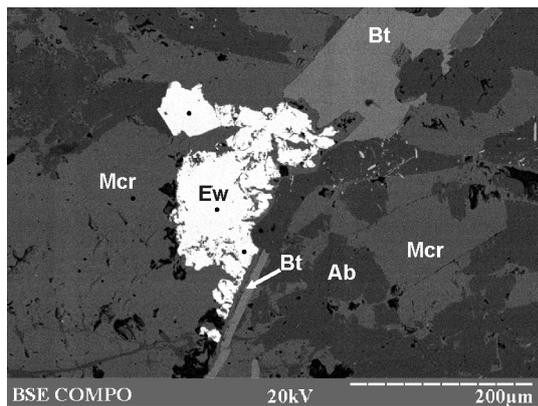


Рис. 6. Эвальдит в агрегате полевых шпатов с биотитом.

Ab – альбит, Bt – биотит, Ew – эвальдит, Mcr – микроклин.

Fig. 6. Ewaldite in feldspar-biotite aggregate.

Ab – albite, Bt – biotite, Ew – ewaldite, Mcr – microcline.

Таблица 4

Table 4

Химический состав эвальдита (мас. %)

Chemical composition of ewaldite (wt. %)

Компоненты	1	2	Компоненты	1	2
CaO	5.11	4.94	Dy ₂ O ₃	1.16	0.90
BaO	36.84	36.01	Er ₂ O ₃	0.09	0.44
SrO	8.55	8.88	ThO ₂	0.21	0.79
Na ₂ O	5.51	5.84	CO ₂ *	29.99	30.15
Y ₂ O ₃	8.80	8.41	H ₂ O*	3.07	3.08
Gd ₂ O ₃	0.80	0.64	Сумма	100.13	100.09
Расчёт формул на 2 катиона					
1. (Ba _{0.70} Sr _{0.24}) _{0.95} (Na _{0.52} Ca _{0.27} Y _{0.23} Dy _{0.02} Gd _{0.01}) _{1.05} (CO ₃) ₂ ·H ₂ O;					
2. (Ba _{0.69} Sr _{0.25}) _{0.94} (Na _{0.55} Ca _{0.26} Y _{0.22} Gd _{0.01} Dy _{0.01} Er _{0.01} Gd _{0.01} Th _{0.01}) _{1.06} (CO ₃) ₂ ·H ₂ O					

Примечание. CO₂* и H₂O* – расчёт.

Note. CO₂* and H₂O* – recalculated.

В химическом составе эвальдитов, приводимых в литературе, содержания H₂O сильно отличаются. Это объясняется тем, что лишь одна молекула воды имеет относительно жёсткую позицию в структуре минерала (Волошин и др, 1992). Остальная вода присутствует в цеолитной форме. Расчёт кристаллохимических формул ильменского эвальдита даёт вполне удовлетворительные результаты при одной молекуле конституционной H₂O (см. табл. 4).

Заключение

Комплекс карбонатов P3Э, Ba, Sr и Na в Ильменогорском миаскитовом массиве практически совпадает с набором подобных карбонатов, описываемых в Вишневых горах (Попова и др., 2015). В Вишневогорском массиве редкоземельные карбонаты встречаются в трещинных структурах апикальной части. В апикальной части Ильменогорского массива также была отмечена подобная минерализация в кальцитовых агрегатах, приуроченных к центральным частям нефелин-полевошпатовых и полевошпатовых пегматитов. В этих образованиях были установлены стронцианит, бастнезит-(Ce),

анкилит-(Ce), синхизит-(Ce), карбоцернаит (Чердениченко и др., 2014). Эти карбонаты ассоциируют с пироксеном, титанитом, магнетитом, монацитом-(Ce), пиритом, цирконом. На границе с карбонатными выделениями нефелин канкринитизирован, ортоклаз-пертит альбитизирован.

Внутри Ильменогорского массива карбонаты P3Э, Ba, Sr и Na приурочены к цеолитизированным и часто катаклазированным миаскитам. Наблюдаются в межзерновых пространствах, по трещинкам или в виде включений в натролите, вишневите, анальциме. Ассоциируют с кальцитом, сидеритом, целестином, баритом, монацитом, канкринитом. Местами встречаются совместно с пиритом, марказитом, молибденитом, ильменитом, магнетитом, гематитом, пирофанитом, цирконом, бариевым мусковитом, титанитом, пироксеном, апатитом и др. минералами. Состав карбонатов глубинных частей отличается от прикровлевых частей массива большим содержанием Na, присутствием Ba и большим разнообразием карбонатов стронция.

В результате проведённых исследований установлено, что в Ильменогорском миаскитовом массиве состав карбонатов P3Э, Na, Ba и Sr соот-

ветствует типоморфному набору карбонатов для щёлочно-карбонатитовых комплексов. Формы нахождения и парагенезис карбонатов в миаскитах указывают на формирование в заключительные стадии эволюции щелочного комплекса с участием растворов водно-углекислого состава. Об этом свидетельствуют также незначительные содержания бария в бурбанките Ильменских гор и присутствие самостоятельных минералов бария, как это отмечалось ранее для других объектов (Беловицкая и др., 2004).

Литература

- Беловицкая Ю.В., Пеков И.В.** (2004) Генетическая минералогия группы бербанкита. *Новые данные о минералах*. М.: Минмузей РАН, **39**, 51–65.
- Волошин А.В., Субботин В.В., Яковенчук В.Н., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П., Надежина Т.Н., Пушаровский Д.Ю.** (1992) Новые данные об эвальдите. *Зап. ВМО*, **121**(1), 56–67.
- Левин В.Я., Роненсон Б.Н., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселев А.П.** (1997) Щёлочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 274 с.
- Макагонов Е.П., Баженов А.Г., Вализер Н.И., Новокрещенова Л.Б., Плохих Н.А., Варлаков А.С.** (2003) Глубинное строение Ильменогорского миаскитового массива. Миасс: УрО РАН, 180 с.
- Макагонов Е.П., Котляров В.А.** (2008) Бариевая и стронциевая минерализации в Ильменогорском миаскитовом массиве. *Уральский минералог. сборник*, (15). Екатеринбург-Миасс: УрО РАН, 27–34.
- Пеков И.В., Куликова И.М., Никандров С.Н.** (1996) О составе редкоземельных карбонатов из гидротермалитов Вишневогорского щелочного комплекса. *Уральская летняя минералог. школа–96*. Екатеринбург: УГГГА, 137–141.
- Попов В.А., Нишанбаев Т.П.** (2008) Нодулярные карбонатиты Вишнёвых гор. *Девятые Всеросс. науч. чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова*. Миасс: ИМин УрО РАН, 19–23.
- Попова В.И., Попов В.А., Никандров С.Н., Чурин Е.И., Блинов И.А., Хворов П.В.** (2015) Карбонаты Вишневогорского Zr-Nb-месторождения (Южный Урал). *Минералогия*, **1**(4), 91–102.
- Хомяков А.П., Курова Т.А., Муравицкая Г.Н., Тимченко А.Д.** (1982) Эвальдит $Ba(Ca,Na,Y)(CO_3)_2$ – первая находка в СССР. *Доклады АН СССР*, **262**(4), 964–966.
- Чердниченко С.В., Котляров В.А.** (2014) Минералого-геохимическая характеристика карбонатитов Ильменогорского миаскитового массива (Южный Урал). *Зап. ВМО*, **143**(3), 105–114.

References

- Belovitskaya Yu.V., Pekov I.V.** (2004) [Genetic Mineralogy of the burbankite group]. *Novie Dannie o minerale [New data on minerals]* (39), Moscow, 51–65. (in Russian)
- Levin V.YA., Ronenson, B.N., Samkov S.V., Levina I.A., Sergeev N.S., Kiselev A.P.** (1997) [Alkaline-carbonatite complexes of the Urals]. Ekaterinburg: Uralgeolkom, 274 p. (in Russian)
- Voloshchin A.V., Subbotin V. V., Yakovenchuk V. N., Pakhomovsky Ya.A., Men'shchikov Yu.P., Nadezhkina T.N., Pushcharovsky, D.Yu.** (1992) [New data on ewaldite]. *Zapiski WMO [Note the all-Union mineralogical society]*, **121**(1), 56–67. (in Russian)
- Makagonov E.P., Bazhenov, A.G., Waliser N.I., Novokreschenova L.B., Plokhikh N.A., Varlakov A.S.** (2003) [Deep structure of the Ilmenogorsky miaskite massif]. Miass, UrO RAN, 180 p. (in Russian)
- Makagonov E.P., Kotlyarov V.A.** (2008) [Barium and strontium mineralization in Il'menogorsky miaskite massif]. *Ural'skij minyralogicheskij sbornik [Urals mineralogical collection]*, (15), Ekaterinburg-Miass, UrO RAN, 27–34. (in Russian)
- Pekov I.V., Kulikova I.M., Nikandrov S.N.** (1996) [On the composition of rare earth carbonates from hydrothermalites Vishnevogorsky alkaline complex]. *Ural' skya letnyaya mineralogicheskaya shchkola-96. UGGGA [Urals summer mineralogist school–96. Ural state mining-geological Academy]*, Ekaterinburg, 137–141. (in Russian)
- Popov V.I., Nishanbaev T.P.** (2008) [Nodular carbonatites Cherry mountains]. *Devyatye Vsepossiyskie chteniya pamyati il'menskogo mineraloga V.O. Polyakova [The Ninth All-Russian. scientific. memory Ilmen mineralogist, V.O. Polyakova]*. Miass: IMin UrO RAN, 19–23. (in Russian)
- Popova V.I., Popov V.A., Nikandrov S.N., Churin E.I., Blinov I.A., Khvorov P.V.** (2015) [Carbonates Vishnevogorsky Zr-Nb-deposits (South Ural)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **1**(4), 91–102. (in Russian)
- Khomyakov A.P., Kurova, T.A., Muravitskaya G.N., Timchenko, A.D.** (1982) Ewaldite $Ba(Ca,Na,Y)(CO_3)_2$ – the first find in the USSR. *Doklady Akademii Nauk SSSR [Doklady Academy of Sciences USSR]*, **262**(4), 964–966. (in Russian)
- Cherednichenko S.V., Kotlyarov V.A.** (2014) [Mineralogical and geochemical characteristics of carbonatites of the Il'menogorsky miaskite massif (South Ural)]. *Zapiski WMO [Note the all-Union mineralogical society]*, **143**(3), 105–114. (in Russian)

Поступила в редакцию 12 мая 2017 г.