

Шабазит-Mg из габброидов Баженовского офиолитового комплекса (Средний Урал) – первая находка в России

Юрий Викторович ЕРОХИН^{1,*};
Александр Георгиевич ШОРИН^{2,**};
Анатолий Владимирович ЗАХАРОВ^{1,***};
Андрей Егорович ЧУГАЕВ^{3,****};
Любовь Владимировна ЛЕОНОВА¹;
Ольга Львовна ГАЛАХОВА¹

¹Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

²Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

³Уральская геолого-съёмочная экспедиция, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения большой и разнородной группы цеолитов, в частности крайне редкого ее члена – шабазита-Mg. Данный минерал был открыт в 2010 г. в базальтах Венгрии, и наша находка является второй в мире и первой в России.

Цель работы: комплексное исследование шабазита-Mg из габброидов Баженовского офиолитового комплекса (Средний Урал).

Методология исследования: химический состав цеолита установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Для анализа выбирались грани кристаллов с ровной и перпендикулярной к анализатору поверхностью. Полученные количественные анализы пересчитаны с учетом теоретического содержания воды в минерале. Рентгеноструктурное изучение цеолита проведено на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы Shimadzu (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Условия съемки цеолита: медное излучение, $V = 40$ kV, $I = 30$ mA, размер шага – 0,02.

Результаты. В поздних трещинах отрыва в ассоциации с кальцитом, пиритом и ломонитом на глинистом материале встречаются водяно-прозрачные кристаллы кубовидной формы размером до 0,2 мм, а также их корковидные скопления размером до 2–3 мм. Кристаллы сложены основным ромбоздром $r\{1011\}$, а также типичными для шабазита двойниками прорастания с двойниковой осью $[0001]$. Дифрактометрическое изучение отобранных кристаллов показало, что они представлены цеолитом из группы шабазита. Основные отражения цеолита (в Å) – 9,29; 6,88; 5,53; 4,96; 4,31; 3,85; 3,55; 3,44; 2,922; 2,868 и т. д. Параметры элементарной ячейки, рассчитанные на основе дифрактограммы и в гексагональной установке, следующие (в Å) – $a_n = 13,73(4)$; $c_n = 14,83(4)$; $V = 2437,45(5)$. Химический состав минерала достаточно однородный и вполне уверенно пересчитывается на шабазит-Mg. Усредненная кристаллохимическая формула минерала – $(Mg_{0,82}Ca_{0,71}K_{0,09}^{1,62}[(Al_{2,99}Fe_{0,00}Si_{12,00})O_{24}]) \times 10 H_2O$ (в пересчете на 24 атома кислорода). В баженовском шабазите-Mg отмечается высокое $Si/(Si + Al)$ отношение в среднем около 0,75, что в целом характерно для данного цеолита (в эталоне – 0,74).

Выводы. Нами в габброидах Баженовского офиолитового комплекса установлен шабазит-Mg. Находка данного минерала связана с более поздними карбонат-сульфидными прожилками, т. е. шабазит-Mg фиксирует заключительную стадию развития цеолитов в габброидах, что расширяет наши познания о цеолитовой минерализации Баженовского офиолитового комплекса. Примечательно, что найден цеолит не в базальтах, а в офиолитовых габброидах.

Ключевые слова: шабазит-Mg, цеолит, габброиды, Баженовский офиолитовый комплекс, Средний Урал.

Введение
Шабазит является одним из самых распространенных минералов из большой группы цеолитов. Он встречается в различных породах – интрузивных, вулканических, метаморфических и метасоматических и даже в осадочных. Благодаря широкому развитию и своим уникальным свойствам, данный минерал активно используется в технологических производствах по очистке окружающей среды, в сельском хозяйстве и животноводстве.

Группа шабазита на сегодняшний день представлена пятью крайними членами – шабазит-Na и шабазит-Ca [1], шабазит-K [2], шабазит-Sr [3] и шабазит-Mg. Последний цеолит является достаточно редким минералом. Его открыли сравнительно недавно, в 2010 г. в базальтах района Шюмег (южная окраина деревни Бажи, Западный Веспрем, Венгрия) в ассоциации с филлипситом, арагонитом, кальцитом и сапонитом [4]. На данный момент это единственная в мире достоверная находка, хотя известно много упоминаний в литературе об обогащенном магнием шабазите. Так, подобные цеолиты описывались в базальтах Италии, Германии, Франции, Чехии и Австралии [5–7 и др.], но по результатам кристаллохимических пересчетов они всегда оказывались магнийсодержащим шабазитом-Ca [7]. Интересно, что в 1986 г. на островах Ирландии был обнаружен шабазит с преобладанием магния над кальцием и он уже тогда предполагался как новый минеральный вид [8], но, видимо, минерал так и остался неизученным. Нам при исследовании минералогии Баженовского офиолитового комплекса удалось обнаружить шабазит-Mg, который ранее в России не описывался и, по всей видимости, это вторая находка данного цеолита в мире.

Геологическое положение объекта исследований

Баженовский офиолитовый комплекс является самым южным в Асбестовско-Алапаевском поясе ультраосновных массивов и располагается в пределах восточной части Среднего Урала (в 80 км северо-восточнее г. Екатеринбург). Геологическое строение комплекса описано в работах [9, 10 и др.]. Баженовский габбро-ультрабазитовый массив на западе контактирует с Адуйским гранитным, Малышевским лейкогранитным и Лесозаводским габбро-диоритовым мас-

* erokhin-yu@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

** sandy_blood@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3288-4958>

*** zakharov-zav@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8790-7892>

**** chugaev@ugse.ru

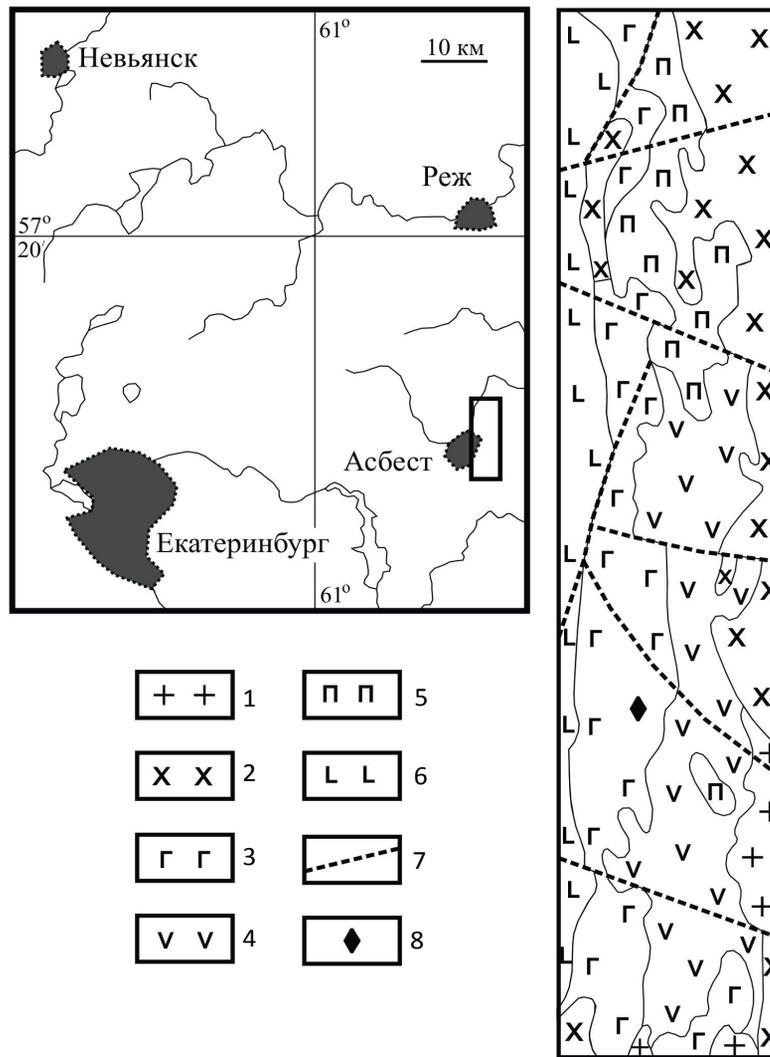


Рисунок 1. Расположение и геологическая карта Баженовского офиолитового комплекса (по [11]). 1 – гранодиориты, адамеллиты Каменского комплекса (C_{1-2}); 2 – тоналиты, габбро-диориты и плагиограниты Рефтинского комплекса ($S_2 - D_1$); 3 – габбро-нориты Асбестовского комплекса (S_1); 4 – гарцбургиты Баженовского офиолитового комплекса (O_{2-3}); 5 – клинопироксениты, вебстериты и верлиты послеофиолитового комплекса (S); 6 – базальты и кремнисто-базальтовые образования ($O_3 - S_1$); 7 – разрывные нарушения; 8 – место находки шабазита-Mg.

Figure 1. Location and geological map of the Bazhenovskiy ophiolite complex (according to [11]). 1 – granodiorites, adamellites of the Kamensky complex (C_{1-2}); 2 – tonalites, gabbro-diorites and plagiogranites of the Reftinsky complex ($S_2 - D_1$); 3 – gabbro-norites of the Asbestovsky complex (S_1); 4 – harzburgites of the Bazhenovskiy ophiolite complex (O_{2-3}); 5 – clinopyroxenites, websterites and werlites of the post-ophiolitic complex (S); 6 – basalts and siliceous-basalt formations ($O_3 - S_1$); 7 – faults; 8 – found of chabazite-Mg.

сивами, а также с тектонизированными фрагментами вулканогенно-осадочных толщ ордовика и девона. С юга и юга-запада блок офиолитов граничит с Каменским гранитным и частично с Рефтинским габбро-плагиогранитным массивами, а с востока – также с Рефтинским и Некрасовским габбро-гранитным массивами. С севера Баженовский офиолитовый комплекс обрамляется разнообразными вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами каменноугольного и девонского возраста (рис. 1). Возраст офиолитового комплекса до сих пор достоверно не установлен, но известно, что ультрабазиты прорваны (запечатаны) раннесилурийскими дайками гранитоидов [11], т. е. возраст Баженовского офиолитового комплекса может быть только древнее раннего силура.

Методы исследований

Химический состав цеолита установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (ИГТ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик Л. В. Леонова). Для анализа выбирались грани кристаллов с ровной и перпендикулярной к анализатору поверхностью. К сожалению, ЭДС-приставка не измеряет воду, поэтому полученные анализы пересчитаны с учетом теоретического содержания воды в минерале.

Рентгеноструктурное изучение цеолита проведено на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы Shimadzu с поликапиллярной оптикой и высокотемпературной приставкой НТК-1200N фирмы Anton Paar для работы в диапазоне температур 25–1500 °С (ИГТ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик О. Л. Галахова). Условия съемки цеолита: медное излучение, $V = 40 \text{ kV}$, $I = 30 \text{ mA}$, размер шага – $0,02^\circ$.



Рисунок 2. Сдвойникованные кристаллы шабазита-Mg на поверхности габброида. Фото под бинокулярной микроскопом, размер кристаллов около 0,2 мм.

Figure 2. Twinned crystals of chabazite-Mg on the surface of the gabbroid. Photo under the binocular microscope, the size of the crystals is about 0.2 mm.

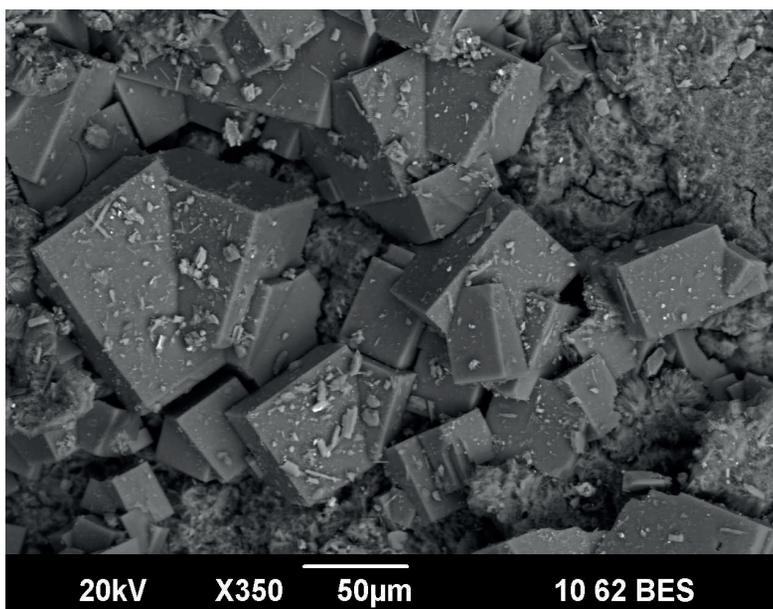


Рисунок 3. Кристаллы шабазита-Mg в корковидных агрегатах на поверхности глинистого минерала. Фото в отраженных электронах, CAMECA SX 100.

Figure 3. Chabazite-Mg crystals in crustaceous aggregates on the surface of a clay mineral. BSE-image, CAMECA SX 100.

Полученные результаты и их обсуждение

Осенью 2014 г. для производственных нужд ОАО «Ураласбест» в массиве габброидов была пробурена серия скважин, керн которых нами изучался. Место отбора проб: западный борт Центрального карьера Баженовского месторождения хризотил-асбеста (юго-западная часть карьера, 2-й уступ сверху; координаты с GPS-приемника – 57°01'77,8" с. ш.; 61°48'13,9" в. д.). Габброиды (в пересчете нормативные габбро-нориты) полностью метаморфизованы в сосюрит-амфиболовые породы и содержат различные по мощности прожилки цоизита, кварца, ломонтита и кальцита [12 и др.]. Местами в породе отмечаются трещины отрыва, частично выполненные агрегатами кальцита, пирита и глинистого материала. Эти трещины являются более поздними и секут как крупные (до 1 см толщиной) прожилки цоизита, так и тонкие (толщиной в доли мм) просечки ломонтита. Скопления сульфида частично замещены лимонитом, поэтому поверхность трещин имеет коричневатую окраску. На глинистом материале встречаются водяно-прозрачные кристаллы кубовидной формы размером до 0,2 мм (рис. 2), а также их корковидные скопления размером до 2–3 мм (рис. 3). Кристаллы сложены основным ромбоэдром $r\{1011\}$, а также типичными для шабазита двойниками прорастания с двойниковой осью $[0001]$.

Химический состав шабазита-Mg из габброидов Баженовского офиолитового комплекса, мас. %.
The chemical composition of chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex, wt. %

Номер анализа	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	H ₂ O	Сумма
1	56,85	15,96	0,41	3,21	4,29	0,98	18,30*	100,00
2	57,00	16,14	0,42	3,50	4,20	0,42	18,30*	100,00
3	56,89	16,51	0,32	3,29	4,04	0,65	18,30*	100,00
4	57,18	16,04	0,44	3,80	3,81	0,43	18,30*	100,00
5	56,70	16,08	0,36	3,24	4,33	0,99	18,30*	100,00
6	57,37	15,57	–	3,67	4,69	0,40	18,30*	100,00
7	56,00	16,90	0,02	2,85	2,80	2,50	18,30	99,96**

Формулы цеолита в пересчете на 24 атома кислорода

1	$(Mg_{0,75}Ca_{0,72}K_{0,20})_{1,67}[Al_{2,97}Fe_{0,05}Si_{8,96/11,98}O_{24}] \cdot 10 H_2O$
2	$(Mg_{0,82}Ca_{0,71}K_{0,09})_{1,62}[Al_{2,99}Fe_{0,06}Si_{8,95/12,00}O_{24}] \cdot 10 H_2O$
3	$(Mg_{0,77}Ca_{0,68}K_{0,13})_{1,58}[Al_{3,06}Fe_{0,04}Si_{8,93/12,03}O_{24}] \cdot 10 H_2O$
4	$(Mg_{0,89}Ca_{0,64}K_{0,09})_{1,62}[Al_{2,96}Fe_{0,06}Si_{8,96/11,98}O_{24}] \cdot 10 H_2O$
5	$(Mg_{0,76}Ca_{0,73}K_{0,20})_{1,69}[Al_{2,99}Fe_{0,05}Si_{8,94/11,98}O_{24}] \cdot 10 H_2O$
6	$(Mg_{0,86}Ca_{0,79}K_{0,08})_{1,73}[Al_{2,88}Si_{9,00/11,88}O_{24}] \cdot 10 H_2O$
7	$(Mg_{0,67}K_{0,52}Ca_{0,48}Na_{0,08}Sr_{0,03})_{1,78}[Al_{3,16}Si_{8,89/12,05}O_{24}] \cdot 9,68 H_2O$

Примечание: ан. 1–6 – наши данные, ан. 7 дан по [4]; *количество воды в цеолите дано по [4]; **в данном анализе еще присутствуют SrO – 0,30; Na₂O – 0,27; BaO – 0,02 (в мас. %).

Дифрактометрическое изучение отобранных кристаллов показало, что они представлены цеолитом из группы шабазита (так как кристаллы мелкие, то при подготовке препарата в пробу попали примесные минералы – кальцит, ломонтит, а также амфибол с хлоритом). Основные отражения цеолита (в Å): 9,29; 6,88; 5,53; 4,96; 4,31; 3,85; 3,55; 3,44; 2,922; 2,868 и т. д. Параметры элементарной ячейки, рассчитанные на основе дифрактограммы и в гексагональной установке, следующие (в Å): a_н = 13,73(4); c_н = 14,83(4); V = 2437,45(5), что вполне соответствует эталонным данным шабазита-Mg [4], и они достаточно сильно отличаются от значений других цеолитов из группы шабазита. Ранее при исследовании кристаллохимии шабазитов [1] было доказано, что параметр элементарной ячейки c (в гексагональной установке) увеличивается с ростом содержания алюминия. В соответствии с этим исследованием параметр c_н и сам объем элементарной ячейки в шабазитах-Mg самый низкий среди других цеолитов этой группы.

Химический состав минерала достаточно однородный и вполне уверенно пересчитывается на шабазит-Mg (таблица). При этом по соотношению компонентов он достаточно сильно отличается от эталонного цеолита, найденного в Венгрии [4], так как содержит больше кремнезема, магния и кальция, но меньше алюминия и калия, что, вероятно, связано с химизмом вмещающих габброидов, которые, к примеру, сильно обеднены калием. В баженовском шабазите отмечается высокое Si/(Si + Al) отношение в среднем около 0,75, что в целом характерно для данного цеолита (в эталоне – 0,74 [4], а в разных магнезиальных шабазитах-Sa в пределах 0,65–0,75 [7]).

В целом для габброидов Баженовского офиолитового комплекса характерно присутствие цеолитовой минерализации, местами в сосюрит-амфиболовых породах отмечается интенсивная ломонтитизация (мощностью до 10–15 м) вокруг стильбит-гейландитовых прожилков. При этом вокруг собственных прожилков ломонтита никакой цеолитизации не наблюдается. Находка шабазита-Mg связана с наиболее поздними карбонат-сульфидными прожилками, т. е. минерал фиксирует заключительную стадию развития цеолитов в габброидах, что расширяет наши познания о цеолитовой минерализации Баженовского офиолитового комплекса. К примеру, здесь же в ультрабазитовом массиве широко распространены жильные родингиты (большей частью это метасоматически преобразованные дайки габброидов) с разнообразной и уникальной минералогией. Среди прочего здесь встречаются прекрасные коллекционные образцы с цеолитами – натролитом, сколецитом, мезолитом, гоннардитом, шабазитом-Sa, филлипситами и другими минералами [13–15 и др.]. Интересно, что в баженовских родингитах ранее был установлен магнийсодержащий шабазит-Sa с содержанием 1,3 вес. % MgO [16], но до недавнего времени к этому анализу относились с недоверием.

Выводы

Таким образом, нами в габброидах Баженовского офиолитового комплекса установлен шабазит-Mg. Находка данного минерала связана с более поздними карбонат-сульфидными прожилками, т. е. шабазит-Mg фиксирует заключительную стадию развития цеолитов в габброидах, что расширяет наши познания о цеолитовой минерализации Баженовского офиолитового комплекса. Это первая находка минерала в России и, по всей видимости, вторая в мире.

Авторы благодарны руководству комбината ОАО «Ураласбест» за возможность отбора проб, а также канд. геол.-минерал. наук В. С. Пономареву за помощь в подготовке рукописи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-5-5-32).

ЛИТЕРАТУРА

1. Passaglia E. The crystal chemistry of chabazite // Amer. Miner. 1970. Vol. 55, July–August. P. 1278–1301.
2. Gennaro M., Franco E. La K-cabasite di alcuni «tufi del Vesuvio» // Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei. 1976. Vol. 60. P. 490–497.
3. Пеков И. В., Турчкова А. Г., Чуканов Н. В., Задов А. Е., Гришин В. Г. Шабазит-Sr (Sr, Ca)[Al₂Si₄O₁₂]-6H₂O – новый цеолит из Ловозерского массива, Кольский полуостров // Записки ВМО. 2000. Т. 129, № 4. С. 54–58.
4. Montagna G., Bigi S., Kónya P., Szakáll S., Vezzalini G. Chabazite-Mg: a new natural zeolite of the chabazite series // Amer. Miner. 2010. Vol. 95. С. 939–945. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3449>
5. Passaglia E., Tagliavini A. Chabazite-offretite epitaxial overgrowths in cornubianite from Passo Forcel Rosso, Adamello, Italy // Europ. Jour. Miner. 1994. Vol. 6. P. 397–405. <https://dx.doi.org/10.1127/ejm/6/3/0397>
6. Pauliš P., Hřůzek L., Janeček O., Sejkora J., Malíková R., Fediuk F. Zeolitová mineralizace z Nového Oldřichova u Kamenického Šenova (Česká republika) // Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha), 2016. Vol. 23, № 1. P. 100–113.
7. Passaglia E., Ferro O. Occurrence and crystal structure of magnesian chabazite // Studies in Surface Science and Catalysis. 2002. Vol. 142. P. 1729–1735. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(02\)80346-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(02)80346-9)
8. Ryback G., Nawaz R., Farley E. Seventh supplementary list of British Isles minerals (Irish) // Miner. Magaz. 1988. Vol. 52. P. 267–274. <https://doi.org/10.1180/minmag.1988.052.365.14>
9. Татаринев П. М. Материалы к познанию месторождения хризотил-асбеста Баженовского района на Урале // Труды Геолкома. 1928. Вып. 185. 90 с.
10. Золоев К. К., Чемякин В. И., Шмаина М. Я. И др. Баженовское месторождение хризотил-асбеста. М.: Недра, 1985. 271 с.
11. Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Иванов К. С. Раннесилурийский возраст даек плагиогранита из Баженовского офиолитового комплекса, Средний Урал (по данным Th–U–Pb-датирования монацита) // Вестник Воронежского госуниверситета. Сер. «Геология». 2018. № 3. С. 17–21.
12. Ерохин Ю. В. Апогаббровые клиноцоизит-тремолитовые породы Баженовского месторождения хризотил-асбеста // Ежегодник-1997. 1998. С. 76–78.
13. Антонов А. А. Кристалломорфология шабазита из родингитов Баженовского месторождения // Записки ВМО. 1997. № 5. С. 74–78.
14. Антонов А. А. Минералогия родингитов Баженовского гипербазитового массива. СПб.: Наука, 2003. 128 с.
15. Ерохин Ю. В. Минералогия родингитов Баженовского месторождения (Средний Урал) // Минералогический альманах. 2017. Т. 22. Вып. 3. 136 с.
16. Соколова Л. А. Шабазит из Баженовского месторождения хризотил-асбеста // Водные вулканические стекла и поствулканические минералы. М.: Наука, 1967. С. 151–157.

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2019 г.

Chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex (Middle Urals) is the first find in Russia

Yuriy Viktorovich EROKHIN^{1, *},
Aleksandr Georgievich SHORIN^{2, **},
Anatoliy Vladimirovich ZAKHAROV¹,
Andrey Egorovich CHUGAEV^{3, ***},
Lyubov' Vladimirovna LEONOVA¹,
Ol'ga L'vovna GALAKHOVA¹

¹Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

³Ural geological survey expedition, Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is due to the need to study a large and diverse group of zeolites, chabazite-Mg, in particular, it's an extremely rare member of that group. This mineral was discovered in 2010 in the basalts of Hungary, and our discovery is second in the world and first one in Russia.

The purpose of the work: a comprehensive study of chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex (Middle Urals).

Methodology of research: The chemical composition of the zeolite is determined using a JSM-6390LV scanning electron microscope by Jeol with the INCA Energy 450 X-Max 80 energy dispersive device by Oxford Instruments (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg). We chose the faces of the crystals with a flat surface and perpendicular to the analyzer. The obtained quantitative analyzes are recalculated taking into account the predicted water content in the mineral. X-ray diffraction study of the zeolite was carried out with an XRD-7000 X-ray diffractometer by Shimadzu (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg). Conditions for survey of zeolite: copper radiation, V = 40 kV, I = 30 mA, step size – 0.02.

Results. In late ruptures in association with calcite, pyrite, and laumontite, clay-like material contains water-transparent cuboid crystals with a size of up to 0.2 mm, as well as their crustaceous segregation with a size of up to 2–3 mm. The crystals are composed of rhombohedron r {1011}, as well as the typical chabazite twins intergrowth with twinning axis [0001]. A diffractometric study of the selected crystals showed that they were represented by zeolite from chabazite group. The main reflections of zeolite (in Å) are 9.29; 6.88; 5.53; 4.96; 4.31; 3.85; 3.55; 3.44; 2.922; 2.868, etc. The unit cell dimensions calculated on the basis of the X-ray diffraction pattern in the hexagonal positioning are the following (in Å) – $a_{11} = 13.73$ (4); $c_{11} = 14.83$ (4); $V = 2437.45$ (5). The chemical assemblage of the mineral is fairly uniform and quite confidently recalculated for chabazite-Mg. The average crystal-chemical formula of the mineral is $(Mg_{0.82}Ca_{0.71}K_{0.09}Li_{1.62}[(Al_{2.99}Fe_{0.06}Si_{8.95}O_{24})_{11}O_{24}])_{11}H_2O$ (based on 24 oxygen atoms). In Bazhenovskiy chabazite-Mg, a high Si / (Si + Al) ratio is about 0.75, which is generally characteristic of a given zeolite (0.74 in reference).

Conclusion. We have determined chabazite-Mg in the gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex. The discovery of this mineral is associated with later carbonate-sulphide veinlets, i.e., chabazite-Mg captures the final stage of development of zeolites in gabbroids. This fact expands our knowledge of the zeolite mineralization of the Bazhenovskiy ophiolite complex. It is noteworthy that zeolite was found not in basalts, but in ophiolite gabbroids.

Keywords: chabazite-Mg, zeolite, gabbroids, Bazhenovskiy ophiolite complex, Middle Urals.

The authors are grateful to the supervisors of OAO Uralasbest plant for samples collection, as well as V. S. Ponomarev, the candidate of geological and mineralogical sciences, for his help in preparing the manuscript.

This work was supported by the Integrated Program of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (project No. 18-5-5-32).

REFERENCES

1. Passaglia E. 1970, The crystal chemistry of chabazite. *Amer. Miner.*, vol. 55, July-August, pp. 1278–1301.
2. Gennaro M., Franco E. 1976, La K-cabasite di alcuni «tufi del Vesuvio». *Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei*, vol. 60, pp. 490–497.
3. Pekov I. V., Turchkova A. G., Chukanov N. V., Zadov A. E., Grishin V. G. 2000, Chabazite-Sr (Sr, Ca) $[Al_2Si_4O_{12}] \cdot 6H_2O$ is a new zeolite from the Lovozero massif, Kola Peninsula. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], vol. 129, no. 4, pp. 54–58. (*In Russ.*)
4. Montagna G., Bigi S., Kónya P., Szakáll S., Vezzalini G. 2010, Chabazite-Mg: a new natural zeolite of the chabazite series. *Amer. Miner.*, vol. 95, pp. 939–945. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3449>
5. Passaglia E., Tagliavini A. 1994, Chabazite-offretite epitaxial overgrowths in cornubianite from Passo Forcel Rosso, Adamello, Italy. *Europ. Jour. Miner.*, vol. 6, pp. 397–405. <https://dx.doi.org/10.1127/ejm/6/3/0397>
6. Pauliš P., Hruček L., Janeček O., Sejkora J., Malíková R., Fediuk F. 2016, Zeolitová mineralizace z Nového Oldřichova u Kamenického Šenova (Česká republika). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha)*, vol. 23, no. 1, pp. 100–113.
7. Passaglia E., Ferro O. 2002, Occurrence and crystal structure of magnesian chabazite. *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 142, pp. 1729–1735. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(02\)80346-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(02)80346-9)
8. Ryback G., Nawaz R., Farley E. 1988, Seventh supplementary list of British Isles minerals (Irish). *Miner. Magaz.*, vol. 52, pp. 267–274. <https://doi.org/10.1180/minmag.1988.052.365.14>
9. Tatarinov P. M. 1928, *Materialy k poznaniyu mestorozhdeniya khризотил-asbesta Bazhenovskogo rayona na Urale* [Materials to the knowledge of the chrysotile asbestos deposit of the Bazhenovskiy district in the Urals]. *RF Geological Survey*, issue 185, 90 p. (*In Russ.*)
10. Zoloev K. K., Chemyakin V. I., Shmaina M. Ya. et al. 1985, *Bazhenovskoye mestorozhdeniye khризотил-asbesta* [Bazhenovskiy chrysotile asbestos deposit]. Moscow, 271 p. (*In Russ.*)
11. Erokhin Yu. V., Khiller V. V., Ivanov K. S. 2018, Early Silurian age of dikes of plagiogranite from the Bazhenovskiy ophiolite complex, Middle Urals (according to Th–U–Pb dating of monazite). *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta* [Proceedings of Voronezh State University], Geology Series, no. 3, pp. 17–21. (*In Russ.*)
12. Erokhin Yu. V. 1998, *Apogabbrovyye klinotsozilit-tremolitovyye porody Bazhenovskogo mestorozhdeniya khризотил-asbesta* [Apogabbroic clinotozilit-tremolite rocks of the Bazhenovskiy chrysotile asbestos field]. Yearbook-1997, pp. 76–78. (*In Russ.*)

* erokhin-yu@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

**sandy_blood@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3288-4958>

***chugaev@ugse.ru

13. Antonov A. A. 1997, Crystal morphology of chabazite from rodingites of the Bazhenovskiy deposit. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], no. 5, pp. 74–78. (In Russ.)
14. Antonov A. A. 2003, *Mineralogiya rodingitov Bazhenovskogo giperbazitovogo massiva* [Mineralogy of the rodingites of the Bazhenovskiy hyperbasite massif]. Saint-Petersburg, 128 p. (In Russ.)
15. Erokhin Yu. V. 2017, *Mineralogiya rodingitov Bazhenovskogo mestorozhdeniya (Sredniy Ural)* [Mineralogy of the rodingites of the Bazhenovskiy deposit (Middle Urals)]. *Mineralogical Almanac*, vol. 22, issue 3, 136 p. (In Russ.)
16. Sokolova L. A. 1967, *Shabazit iz Bazhenovskogo mestorozhdeniya khrizotil-asbesta. Vodnyye vulkanicheskiye stekla i postvulkanicheskiye mineraly* [Chabazite from Bazhenovskiy deposit of chrysotile asbestos. Water volcanic glasses and postvolcanic minerals]. Moscow, p. 151–157. (In Russ.)

The article was received on February 18, 2019