

УДК 549.67 (470.55)

DOI: 10.35597/2313-545X-2020-6-1-1

ЦЕОЛИТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ПЕГМАТИТАХ И ПОЗДНИХ ПРОЖИЛКАХ ВИШНЕВОГОРСКОГО ЩЕЛОЧНО-КАРБОНАТИТОВОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

**В.И. Попова¹, А.В. Касаткин², В.А. Попов¹, С.Н. Никандров¹,
Е.П. Макагонов¹, А.М. Кузнецов³, Р. Шкода⁴**

¹ Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; popov@mineralogy.ru

² Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр. 18/2, г. Москва, 119071 Россия
³ ул. Октябрская 5–337, г. Челябинск, 454071 Россия

⁴ Масариков университет, Котлариска 2, г. Брно, 61137 Чехия

ZEOLITES IN PEGMATITES AND LATE VEINLETS OF THE VISHNEVOGORSKY ALKALINE-CARBONATITE COMPLEX (SOUTH URALS)

V.I. Popova¹, A.V. Kasatkin², V.A. Popov¹, S.N. Nikandrov¹, E.P. Makagonov¹, A.M. Kuznetsov³, R. Škoda⁴

¹ South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy, Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; popov@mineralogy.ru

² Fersman Mineralogical Museum of RAS, Leninsky pr. 18/2, Moscow, 119071 Russia
³ ul. Oktyabrskaya 5–337, Chelyabinsk, 454071 Russia

⁴ Masaryk University, Kotlářská 2, Brno, 61137 Czech Republic

В работе обобщены данные о минеральных парагенезисах, форме кристаллов и химическому составу цеолитов (анальцима, натролита, гоннардита, паранатролита, сколецита, мезолита, гарронита-Na, филлипсита-K, гармотома, шабазита-Ca, гейландита-Ca, гейландита-Sr, гейландита-K, стильбита-Ca, брюстерита-Sr и, предположительно, каулсита) из цеолитосодержащих пегматитов и секущих их поздних прожилков, локализованных преимущественно в миаскитах СЗ эндоконтакта Вишневогорского массива и Седловидной залежи, вмещающих жильные тела Вишневогорского месторождения ниобиевых руд на Южном Урале. Гарронит-Na впервые найден в России и второй раз – в мире. Ряд цеолитов (брюстерит-Sr, гейландит-K, гейландит-Sr, мезолит и филлипсит-K) выявлены впервые для территории Вишнёвых гор.

Илл. 21. Табл. 1. Библ. 14.

Ключевые слова: цеолиты, Вишнёвые горы, Южный Урал.

The paper summarizes the data on mineral assemblages, crystal morphology and chemical composition of zeolites (analcime, natrolite, gonnardite, paranatrolite, scolecite, mesolite, garronite-Na, phillipsite-K, harmotome, chabazite-Ca, heulandite-Ca, heulandite-Sr, heulandite-K, stilbite-Ca, brewsterite-Sr and, probably, cowlesite) from zeolite-bearing pegmatites and late veinlets, which are located in miaskites of the NW contact of the Vishnevogorsky block and Sedlovidnaya miaskite block, which host vein ore bodies of the Vishnevogorsky Nb deposit at the South Urals. Garronite-Na is found for the first time in Russia and this is the second finding in the world. Some zeolites (brewsterite-Sr, heulandite-K, heulandite-Sr, mesolite, and phillipsite-K) are identified for the first time in the Vishnevy Mountains.

Figures 21. Tables 1. References 14.

Key words: zeolites, Vishnevy Mountains, South Urals.

Введение

Цеолиты в Вишнёвых горах (Южный Урал) входят в состав поздней минерализации нефелин-канкринит-полевошпатовых пегматитов Курочкина Лога, жил пегматитов на восточном отроге г. Ерёмна, жилы № 5 на г. Каравай, жилы № 125 и рудной зоны 140 (Белянкин, 1933; Бонштедт-Куплетская, 1951; Чесноков, 1963). В результате исследований 1980–2019 гг. цеолиты встречены во многих других жилах щелочных пегматитов и поздних прожилках,

вскрытых выработками шахты Капитальная, карьером и штольной жилы № 35 в рудной зоне 147, полевошпатовым карьером Надежда на горах Долгой и Кобелихе и в жилах №№ 116, 137, 141, 144, 145 (Никандров, 1989; Макагонов, Никандров, 1990; Попов, Нишанбаев, 1993; Пеков и др., 2004; Нишанбаев и др., 2016). Цеолитсодержащие жилы проявлены, в основном, в миаскитах северо-западного эндоконтакта Вишневогорского массива и Седловидной залежи, вмещающей рудные тела Вишневогорского месторождения ниобиевых руд (рис. 1).

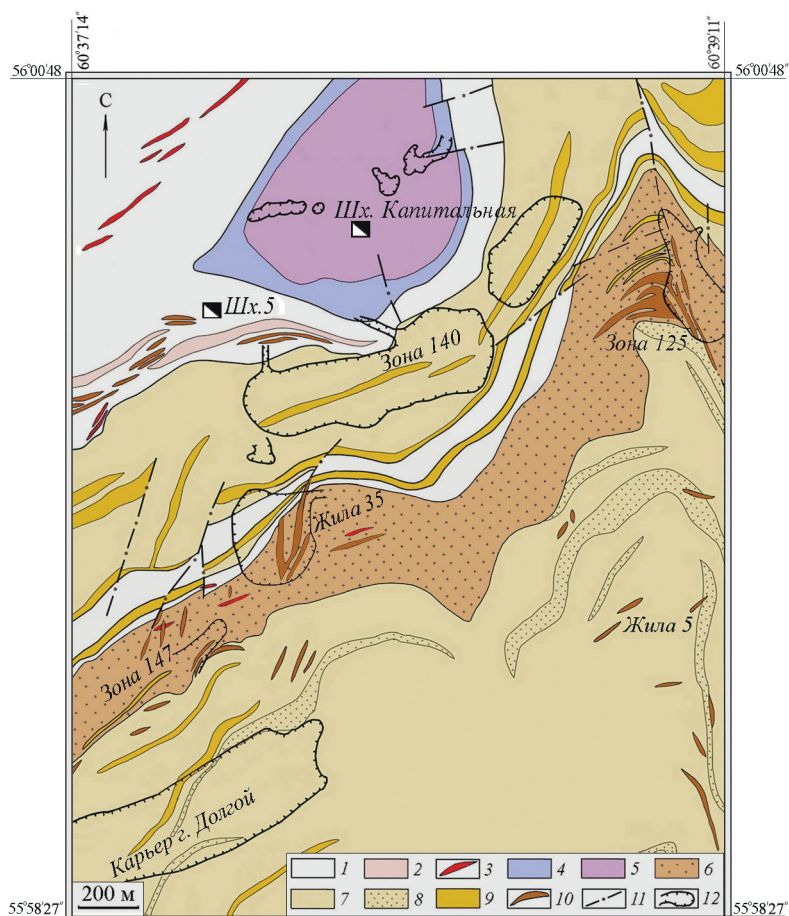


Рис. 1. Основные участки развития цеолитсодержащих пегматитов и поздних прожилков (схема по (Роненсон, 1966) с изменениями).

1 – гнейсы, амфиболиты и кристаллосланцы (PR_1); 2 – жильные граниты ($Pz_1?$); 3 – гранитные пегматиты ($Pz_{2-3}?$); 4, 5 – габброиды (4) и серпентиниты (5) Булдымского массива (PR_1); 6 – пироксеновые, амфибол-пироксеновые и биотит-пироксеновые фениты (Pz_1); 7–9 – биотитовые (7), мусковитизированные (8) и альбитизированные (9) миаскиты с зонами карбонатитов (Pz_{1-2}); 10 – миаскитовые и сиенитовые пегматиты (Pz_2); 11 – основные нарушения; 12 – контуры карьеров.

Fig. 1. Main areas of location of zeolite-bearing pegmatites and late veinlets, modified after (Ronenson, 1966).

1 – gneisses, amphibolites and crystal shists (PR_1); 2 – veined granites ($Pz_1?$); 3 – granitic pegmatites ($Pz_{2-3}?$); 4, 5 – gabbroids (4) and serpentinites (5) of the Buldym block (PR_1); 6 – pyroxene, amphibole-pyroxene and biotite-pyroxene fenites (Pz_1); 7–9 – biotite miaskites (7), muscovitized (8) and albitized (9) miaskites with carbonatite zones (Pz_{1-2}); 10 – miaskitic and syenitic pegmatites (Pz_2); 11 – main faults; 12 – contours of quarries.

В настоящей статье обобщены результаты ранее опубликованных и вновь полученных данных о локализации и строении цеолитсодержащих жил пегматитов и поздних прожилков Вишнёвых гор, минеральных парагенезисах, форме кристаллов и химическом составе цеолитов. Материалом послужили сборы авторов разных лет (в основном, 1982–2018 гг.). Часть образцов получена от С.Ю. Крюкова и А.В. Донскова. Гониометрические измерения кристаллов выполнены В.А. Поповым и Е.П. Макагоновым. Состав цеолитов определен при помощи СЭМ CamScan 4D с энергодисперсионным микроанализатором в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва (аналитик А.В. Касаткин) и на волновом микроанализаторе Cameca SX 100, Масариков университет, г. Брно, Чехия (аналитики Р. Шкода и А.В. Касаткин). Единичные анализы выполнены И.А. Блиновым (СЭМ Tescan Vega3) и В.А. Котляровым (РЭММА-202М) в Институте минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН. Структурные типы для ряда цеолитов определены по данным монокристалльной и порошковой рентгенографии (аналитики Ф. Нес-тола, г. Падую, Италия, и А.В. Касаткин). Часть порошкограмм ранее снята В.Ф. Ждановым (Ильменский государственный заповедник, г. Миасс),

П.В. Хворовым (Институт минералогии, г. Миасс) и С.Г. Суставовым (Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург).

Парагенезисы цеолитов в пегматитах и поздних прожилках Вишнёвых гор

В миаскитовых пегматитах Курочкина Лога и жилы № 5 на г. Каравай отмечена частичная цеолитизация нефелина и канкринита по периферии зерен и вдоль секущих трещин с образованием микрозернистых или мелкошестоватых и тонковолокнистых агрегатов «шпреуштейна». Цеолитсодержащие жилы и прожилки наиболее проявлены в СЗ части Вишнёвых гор, где они приурочены к серии субмеридиональных трещин, крутопадающих на восток. Пржилки с цеолитами, секущие полосчатость миаскиотов, встречаются в эндоконтакте Центрального щелочного массива на его северном замыкании и в Седловидной залежи миаскиотов – в подземных горных выработках шахты Капитальная и в керне скважин на глубинах 20–580 м от поверхности. Протяженность прожилков по падению достигает 2 м и более, толщина – 1–2 см, иногда до 5 см и более (рис. 2).

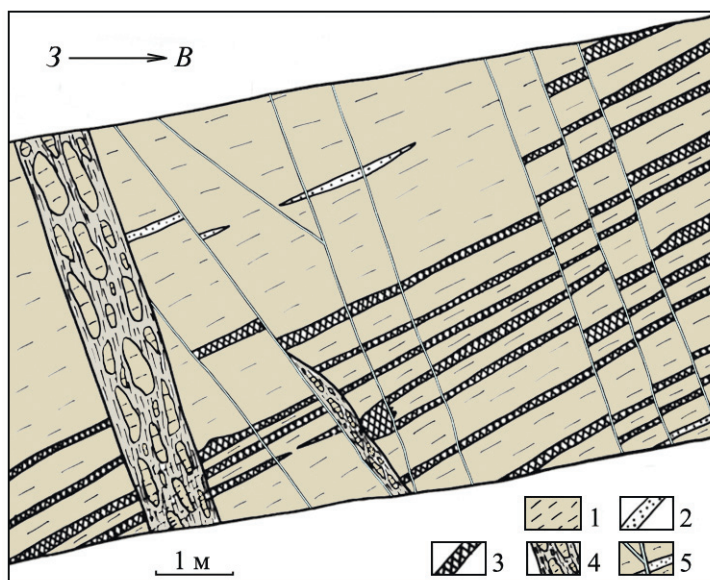


Рис. 2. Строение трещинной системы с натролит-анальцимовой минерализацией.

1 – миаскиты; 2 – микроклиновые прожилки с пирохлором; 3 – «рудные» пирохлорсодержащие аннит-кальцитовые прожилки; 4 – зоны дробления; 5 – натролит-анальцимовые прожилки.

Шахта Капитальная, уклон квершлага на глубине ~400 м (зарисовка С.Н. Никандрова, 1985 г.).

Fig. 2. Structure of a fracture system with natrolite-analcime mineralization.

1 – miaskites; 2 – microcline veinlets with pyrochlore; 3 – «ore» pyrochlore-bearing annite-calcite veinlets; 4 – fracturing zones; 5 – natrolite-analcime veinlets.

Mine Kapitalnaya, the slope of a crosscut at the depth of ~400 m (sketch of S.N. Nikandrov, 1985).

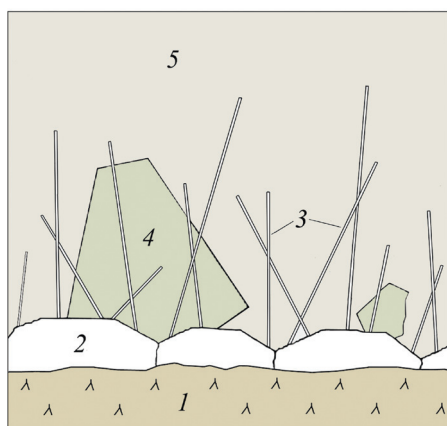


Рис. 3. Строение приконтактной зоны прожилка в миаските (Чесноков и др., 1984).

1 – миаскит; 2 – анальцим; 3 – натролит; 4 – шортит; 5 – мирабилит.

Ширина рисунка – 6 см.

Fig. 3. Structure of the contact zone of veinlet in miaskite (Chesnokov et al., 1984).

1 – miaskite; 2 – analcime; 3 – natrolite; 4 – shortite; 5 – mirabilite.

The width of the figure is 6 cm.



Рис. 4. Кристаллы анальцима с натролитом на агрегате полевых шпатов из жилы № 5.

Образец (7 см) и фото В. А. Попова.

Fig. 4. Analcime crystals with natrolite on feldspar aggregate from vein no 5.

Sample (7 cm) and photo of V. A. Popov.

В зальбандах прожилков нередко встречаются агрегаты минералов щелочных пегматитов (полевые шпаты, нефелин, канкринит, аннит, мусковит, кальцит), а центральные части и полости трещин выполнены анальцимом и натролитом (с геометрическим отбором от зальбандов к центру) с последующим отложением шортита и мирабилита (рис. 3). На кристаллах белого анальцима размером 1–5 мм и более встречаются мелкие сфероидные агрегаты темно-коричневого или зеленовато-черного шамозита с участками индукционных поверхностей

сокристаллизации и наростами кристаллов полупрозрачного натролита размером 0.2–2 см (рис. 4). В цеолитсодержащих прожилках также встречаются флюорит, рутил, кальцит или шортит. Их центральная часть чаще всего выполнена мирабилитом и снежно-белым порошковатым тенардитом.

К настоящему времени в Вишнёвых горах выявлены и в разной степени изучены 16 минеральных видов семейства цеолитов – анальцим, натролит, гоннардит, паранатролит, сколецит, мезолит, гарронит-Na, филлипсит-K, гармотом, шабазит-Ca, гейландит-Ca, гейландит-Sr, гейландит-K, стильбит-Ca, брюстерит-Sr и, предположительно, каулсит. Ниже приводится их краткая характеристика.

Морфология и состав кристаллов цеолитов и их агрегатов

Анальцим $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ в миаскитовых пегматитах Курочкина Лога впервые отмечен Д.С. Белянкиным (1933). Э.М. Бонштедт-Куплетская (1951) определила анальцим в пегматитах Курочкина Лога, Цирконового шурфа (№№ 3 и 4 на отроге г. Ерёмина) и № 5 на г. Каравай, в том числе мелкозернистые агрегаты желтоватого анальцима в сростании с альбитом, развивающиеся по нефелину. В результате наших исследований 1980–2018 гг. установлено широкое распространение анальцима в миаскитовых пегматитах и тонких прожилках среди миаскитов в полевошпатовом карьере Надежда на г. Долгая и в выработках шахты Капитальная. Белый или желтовато-розоватый крупнокристаллический (до 2–4 см) анальцим образует парагенезисы с крупным биотитом, магнетитом и кальцитом. Нередко анальцим частично замещен натролитом (рис. 5). Кристаллы анальцима из Вишнёвых гор по форме и внешней симметрии относятся к кубической сингонии и обычно встречаются в форме тетрагонтриоктаэдра $\{211\}$, иногда в комбинации с кубом $\{100\}$ (рис. 6).

Состав крупнокристаллического анальцима приведен в работе (Бонштедт-Куплетская, 1951) и показан в таблице (ан. 1). Эмпирическая формула минерала – $(\text{Na}_{0.91}\text{K}_{0.03}\text{Mg}_{0.02}\text{Fe}_{0.02})_{\Sigma 1.00}[\text{Al}_{1.08}\text{Si}_{1.94}\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_6 и $1\text{H}_2\text{O}$).

Натролит $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ описан в виде столбчатых кристаллов, крупношестоватых веерообразных агрегатов и частичных псевдоморфоз (в ассоциации с бёмитом и диаспором) по нефелину и анальциму в пегматитах жилы Курочкина Лога и

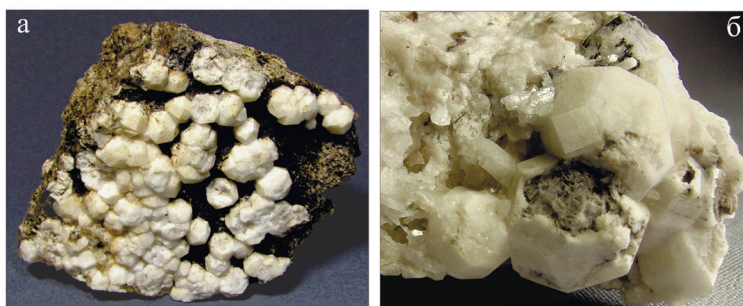


Рис. 5. Кристаллы анальцима (до 1 см) из жилы №№ 5 и 137.

Образцы и фото С.Ю. Крюкова (а) и А.М. Кузнецова (б).

Fig. 5. Analcime crystals (up to 1 cm) from vein no. 5, 137.

Samples and photo of S.Y. Kryukov (a) and A.M. Kuznetsov (b).

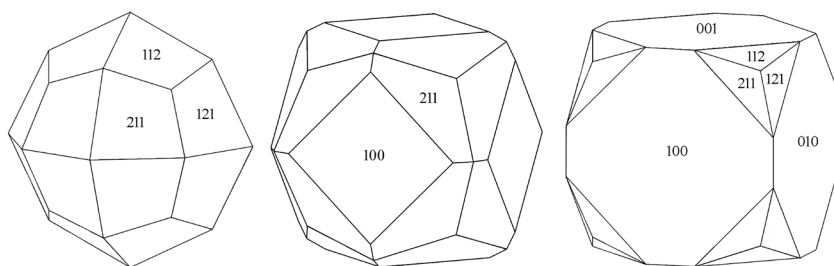


Рис. 6. Форма кристаллов анальцима из жил в миаскитах Вишнёвых гор.

Чертежи В.А. Попова.

Fig. 6. Morphology of analcime crystals from veins in miaskites of the Vishnevye Mountains.

Drawing by V.A. Popov.

на горах Курочкина и Каравай (Бонштедт-Куплетская, 1951). Позднее отмечался во многих жилах щелочных пегматитов. Размер кристаллов и сферолитовых агрегатов составляет 2.5–3.0 см (рис. 7) и реже достигает 4–5 см. Встречаются «саблевидные» сростки с двойниковой осью [001] (Макагонов, Никандров, 1990). В пустотах полиминеральных мелко- и микрокристаллических агрегатов (в шпреуштейне) отмечены мельчайшие игольчатые кристаллы более позднего натролита с выросшими на них кристаллами бёмита и гиббсита («гидраргиллита») и последующим отложением галлуазита (Бонштедт-Куплетская, 1951). В поздних цеолит-содержащих прожилках, рассекающих миаскиты, миаскитовые пегматиты и биотит-кальцитовые жилы в карьере на г. Долгой на сферолитах игольчатого натролита отмечались наросты белого микрозернистого паранатролита, а также частичные и полные псевдоморфозы натролита и паранатролита по кристаллам анальцима и канкринита (Пеков и др., 2004). Сферолитовые агрегаты натролита нередко нарастали на анальцим (рис. 7г, д), а позднее частично замещались микрозернистыми белыми агрегатами паранатролита (рис. 7б–г).

Состав относительно крупных кристаллов натролита приведен в работе (Бонштедт-Куплетская, 1951) и показан в таблице (ан. 2). Рассчитанная нами формула (на O_{10}) имеет вид $(Na_{1.63}Ca_{0.02}Fe_{0.02}Mg_{0.01}K_{0.01})_{\Sigma 1.69}[Al_{2.16}Si_{2.93}S_{0.01}O_{10}] \cdot 1.98H_2O$ с дефицитом в позиции *A* и повышенным количеством *Al* в позиции *B*. Возможно, материал пробы включал небольшую примесь других минералов. По нашим данным (табл., ан. 3), эмпирическая формула натролита – $(Na_{1.80}Ca_{0.06}Fe_{0.02})_{\Sigma 1.88}[Al_{2.00}Si_{3.01}O_{10}] \cdot 2H_2O$ (расчет на O_{10} и $2H_2O$). В «саблевидных» двойниках натролита (рис. 7ж) состав разных индивидов одинаков (табл., ан. 4) и отвечает эмпирической формуле $Na_{1.98}[Al_{2.00}Si_{3.01}O_{10}] \cdot 2H_2O$. От внутренних участков исследованных кристаллов к периферии в ряде анализов немного возрастает содержание *Na* (Макагонов, Никандров, 1990).

Гоннардит $Na_2Ca[(Al_4Si_6)O_{20}] \cdot 7H_2O$ («тетранатролит») установлен С.Г. Сустановым (устное сообщение) в 1998 г. по рентгенограмме минерала в корках изменения нефелина из щелочных пегматитов Свистунова лога (Кобяшев, Никандров, 2007). В образце, найденном в 2008 г. А.М. Кузнецовым в Полевошпатовом карьере г. Долгой (рис. 8), мине-

Таблица

Table

Химический состав (мас. %) цеолитов из Вишнёвых гор
Chemical composition (wt. %) of zeolites from the Vishnevy Mountains

№ ан.	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	SrO	BaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O	Сумма
Анальцит											
1 ¹	12.75	0.63	0.10	0.30	—	—	0.16	25.01	52.98	8.31	100.24
Натролит											
2 ¹	13.45	0.11	0.32	0.10	—	—	0.47	29.37	46.88	9.72	100.54
3	14.43	—	0.88	—	—	—	0.29 ²	26.40	46.68	9.35 ³	98.03
4	16.20	—	—	—	—	—	—	26.80	47.62	9.50 ³	100.12
Паранатролит											
5 ⁴	9.70	—	4.93	—	1.19	0.20	—	28.32	42.60	13.57 ³	100.47
Мезолит											
6	5.33	—	9.23	—	—	—	—	26.37	47.05	12.48 ³	100.46
Гарронит											
7	14.07	0.56	0.28	—	—	—	—	26.03	47.85	11.72 ³	100.51
Филлипсит-К											
8	1.81	5.34	4.12	—	—	—	—	18.66	53.36	16.79 ³	100.08
Гармотом											
9	0.94	0.85	4.14	—	—	13.68	—	17.88	46.54	15.32 ³	99.35
Шабазит-Са											
10	0.15	2.47	7.22	—	0.69	0.35	0.28	16.32	50.00	20.92 ³	98.40
11	0.11	0.95	6.83	—	0.14	4.92	—	18.38	46.56	20.39 ³	98.28
Гейландит-Са											
12	0.12	2.76	4.75	—	6.44	0.31	—	15.80	54.93	14.89 ³	100.00
Гейландит-Sr											
13	0.69	1.65	3.01	—	7.98	0.20	—	15.52	55.48	14.83 ³	99.36
Гейландит-К											
14	1.57	2.95	1.91	—	3.67	3.83	—	15.11	55.34	14.64 ³	99.02
Стильбит-Са											
15 ⁴	0.84	—	7.87	—	—	—	—	14.34	58.56	17.74 ³	99.35
Брюстерит-Sr											
16	0.29	0.26	0.35	—	13.51	3.53	—	15.33	54.40	13.71 ³	101.38
Каулсит (?)											
17	0.17	1.27	7.12	—	7.55	0.32	0.79	20.32	34.31	21.39 ³	93.24

Примечание. ¹ – (Бонштедт-Куплетская, 1951); ² – железо определено как FeO; ³ – H₂O рассчитано по стехиометрии; ⁴ – (Пеков и др., 2004); прочерк – не определено. Анализ 2 содержит 0.12 мас. % SO₃. Анализы получены на приборах СЭМ Tescan Vega3 (3, 17), РЭММА-202М (4, 10, 11) и Cameca SX 100 (6–9, 12–14, 16). Расчетные формулы см. текст.

Note. ¹ – (Bonstedt-Kupletskaya, 1951); ² – iron is determined as FeO; ³ – H₂O is recalculated from stoichiometry; ⁴ – (Pekov et al., 2004); dash – not determined. Analysis 2 contains 0.12 wt % SO₃. The chemical composition is analyzed on SEMs Tescan Vega3 (3, 17), REMMA-202M (4, 10, 11) and Cameca SX 100 (6–9, 12–14, 16). For calculation of formulas, see text.

рал определен П.В. Хворовым также по рентгенограмме.

Паранатролит Na₂[Al₂Si₃O₁₀] · 3H₂O установлен в крупных скоплениях в виде снежно-белых толстых корок (до 2–3 см) на натролите, кальците и анальците, а также в частичных псевдоморфозах по канкриниту в пегматитовых жилах, секущих мискииты на г. Долгой (Пеков и др., 2004). Химический состав паранатролита (табл., ан. 5) отвечает эмпирической формуле (Na_{1.25}Ca_{0.35}Sr_{0.05}Ba_{0.01})_{Σ1.66}[Al_{2.21}Si_{2.83}O₁₀]·3H₂O (расчет на O₁₀ и 3H₂O). При гидротермальных и/или гипергенных изменениях

паранатролит частично замещается гоннардитом. В наших образцах также отмечались мучнисто-белые агрегаты паранатролита на друзовидных сферолитах натролита (рис. 9).

Сколецит Ca[Al₂Si₃O₁₀] · 3H₂O оптически определен в шлифах в зернах с низким двупреломлением среди вишневого из пегматитов Курочкина Лога (Белянкин, 1933). Там же он предположительно отмечен в виде игольчатых кристаллов с отрицательным удлинением без изучения состава (Бонштедт-Куплетская, 1951). Без описания минерал приведен в списке минералов Вишнёвых гор (Еськова и др.,

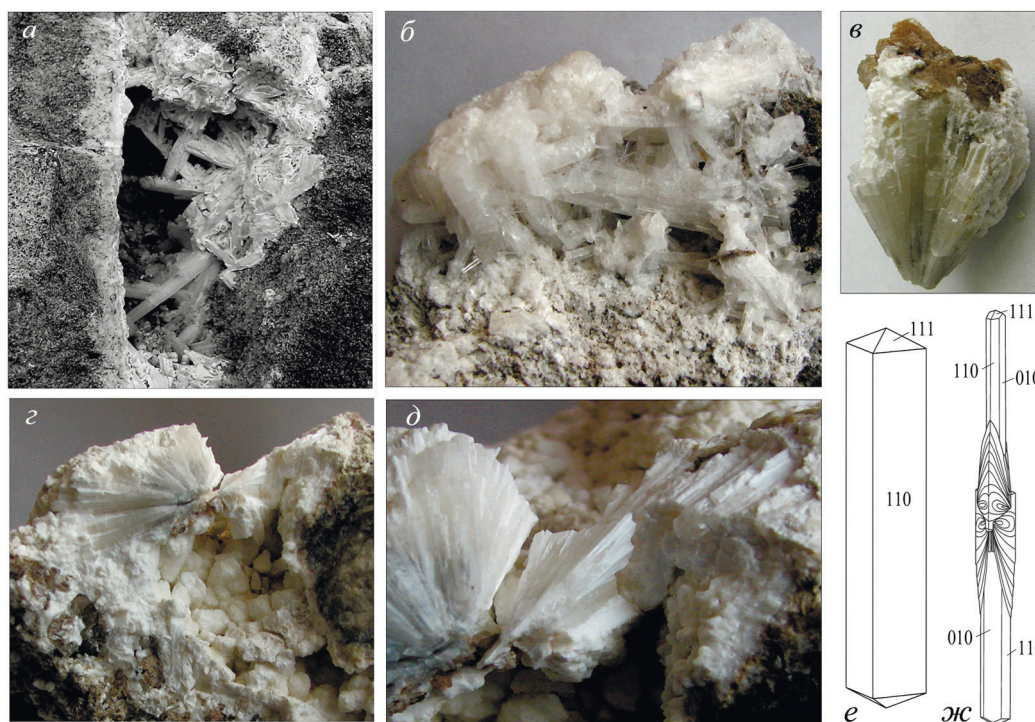


Рис. 7. Кристаллы (а, б, е), двойник (ж) и сферолитовые агрегаты (в–д) натролита размером 2–3 см из полостей в жилах щелочных пегматитов на г. Каравай и Долгой.

Образцы и фото (а–е) В.А. Попова; чертеж двойника (ж) Е.П. Макагонова и С.Н. Никандрова.

Fig. 7. Crystals (a, б, e), twin (ж) and spherulitic aggregates (в–д) of natrolite 2–3 cm in size from cavities in alkali pegmatite veins from quarry at Mts. Karavay and Dolgaya.

Samples and photos (a–e) of V.A. Popov; drawing of the twin (ж) by E.P. Makagonov and S.N. Nikandrov.

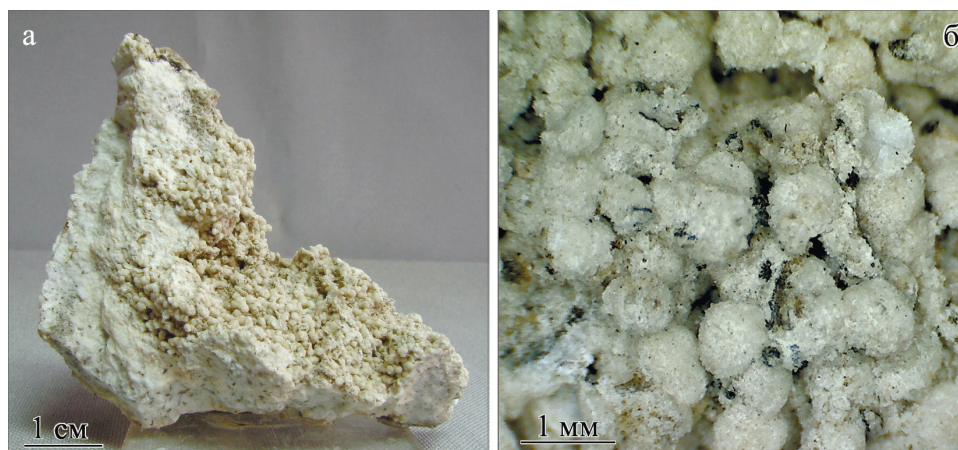


Рис. 8. Агрегат гоннардита из карьера на г. Долгой.

Образец и фото А.М. Кузнецова.

Fig. 8. Gonnardite aggregate from quarry at Mt. Dolgaya.

Sample and photo of A.M. Kuznetsov.

1964). В образцах с цеолитами из жилы № 129 в штольне № 7 (сборы Г.Е. Антонова, 1993 г.) игольчатые кристаллы кальцевого цеолита в ассоциации с кальцитом, алланитом-(Се) и калиевым полевым шпатом по соотношению катионов близки сколециту (предварительные данные А.В. Касаткина).

Мезолит $\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{Al}_6\text{Si}_9\text{O}_{30}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в виде бесцветных удлиненно-пластинчатых кристаллов до 1–2 мм (рис. 10) в ассоциации с цирконом, аннитом и другими минералами установлен в образце, отобранном А.М. Кузнецовым в 2014 г. из полости в нефелин-полевошпатовом пегматите на г. Кобеле-



Рис. 9. Белый порошковатый паранатролит на сферолитовом натролите из прожилка с пиритом.

Размер образца – 6 см, карьер на г. Долгой. Фото А.М. Кузнецова.

Fig. 9. White powdery paranatrolite on natrolite from veinlets with pyrite.

Sample is 6 cm in size, quarry at Mt. Dolgaya. Photo of A.M. Kuznetsov.

ва. Его химический состав (табл., ан. 6) отвечает формуле $\text{Na}_{2.00}\text{Ca}_{1.90}(\text{Al}_{5.99}\text{Si}_{9.06}\text{O}_{30}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{30} и $8\text{H}_2\text{O}$). Параметры ромбической элементарной ячейки, рассчитанные по порошковой рентгенограмме, отвечают мезолиту (Å): $a = 18.333(4)$, $b = 56.414(7)$, $c = 6.554(1)$, $V = 6779(2) \text{ Å}^3$.

Гарронит-Na $\text{Na}_6(\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ установлен в образце, отобранном А.М. Кузнецовым в 2019 г. на горизонте 336 м нефелин-полевошпатового карьера г. Долгой. Этот чрезвычайно редкий цеолит образует мозаичные агрегаты белых полупрозрачных, со стекляннным блеском, субизометричных дипирамидальных кристаллов размером до 0.2–0.5 мм в полости растворения натролита (рис. 11). Химический состав (табл., ан. 7) отвечает эмпирической формуле $(\text{Na}_{5.60}\text{K}_{0.15}\text{Ca}_{0.06})_{\Sigma 5.81}[\text{Al}_{6.29}\text{Si}_{9.81}\text{O}_{32}] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{32} и $8\text{H}_2\text{O}$). Рассчитанные по порошковой рентгенограмме параметры моноклинной элементарной ячейки: $a = 9.964(1) \text{ Å}$, $b = 10.098(1) \text{ Å}$, $c = 10.098(2) \text{ Å}$, $\beta = 90.46(2)^\circ$, $V = 1016.1(2) \text{ Å}^3$. Гарронит-Na описан в щелочном массиве Сент-Илер в провинции Квебек в Канаде и считался эндемиком для этого объекта (Grise et al., 2016). Наша находка является первой в России и второй – в мире.

Филлипсит-К $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})_{4-x}[\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ обнаружен в кавернах цеолитового прожилка в образце содалита, отобранного А.М. Кузнецовым в 1996 г. из Полевошпатового карьера на г. Долгой. В жильном агрегате преобладают натролит и

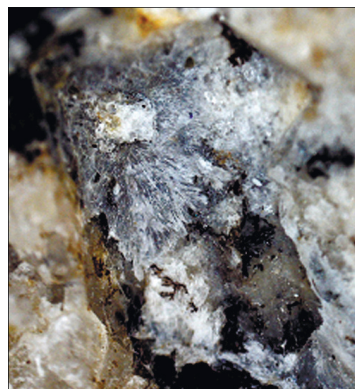


Рис. 10. Бесцветные кристаллы мезолита в полости нефелин-полевошпатового пегматита на г. Кобелева.

Размер фото – 36×39 мм. Образец А.В. Касаткина, фото А.М. Кузнецова.

Fig. 10. Colorless mesolite crystals in cavity of nepheline-feldspar pegmatite at Mt. Kobeleva.

Image size is 36×39 mm. Sample of A.V. Kasatkin, photo of A.M. Kuznetsov.

анальцит, в меньших количествах встречаются гоннардит и кальцит. Многочисленные полости инкрустированы мелкими водяно-прозрачными блочными кристаллами филлипсита-К размером до 0.5 мм (рис. 12). Химический состав минерала (табл., ан. 8) отвечает эмпирической формуле $(\text{K}_{1.46}\text{Ca}_{0.95}\text{Na}_{0.75})_{\Sigma 3.16}[\text{Al}_{4.71}\text{Si}_{11.44}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{32} и $12\text{H}_2\text{O}$). Параметры моноклинной элементарной



Рис. 11. Сrostок белых кристаллов (0.2–0.3 мм) гарронита-Na из карьера на г. Долгой.

Размер фото – 3.3×3.2 мм. Образец и фото А.М. Кузнецова.

Fig. 11. Intergrowth of white crystals (0.2–0.3 mm) of garronite-Na from quarry at Mt. Dolgaya.

Image size is 3.3×3.2 mm. Sample and photo of A.M. Kuznetsov.

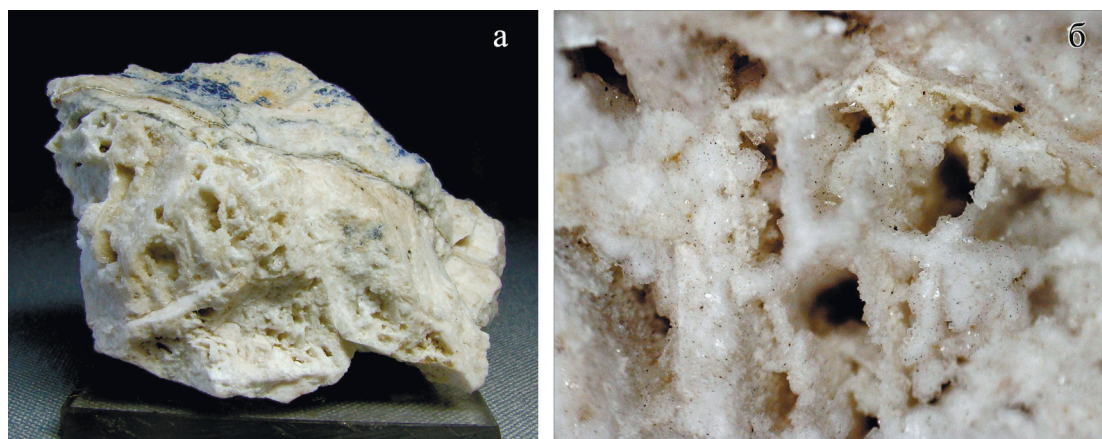


Рис. 12. Мелкие бесцветные кристаллы филлипсита-К на стенках каверн в натролите с анальцимом и содалитом. а – общий вид образца, $4 \times 3.5 \times 2$ см; б – фрагмент, 0.5×0.5 см. Карьер на г. Долгой. Образец и фото А.М. Кузнецова.

Fig. 12. Small colorless phillipsite-K crystals on walls of cavities in natrolite with analcime and sodalite.

а – general view of the sample, $4 \times 3.5 \times 2$ cm; б – detail of photo a, 0.5×0.5 cm. Quarry at Mt. Dolgaya. Sample and photo of A.M. Kuznetsov.

ячейки, рассчитанные по порошковой рентгенограмме, соответствуют структурному типу филлипсита (Å): $a = 9.879(2)$, $b = 14.261(3)$, $c = 8.653(1)$, $\beta = 124.34(1)^\circ$, $V = 1006.6(2)$ Å³.

Гармотом $(\text{BaCa})_2[\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ упоминался в ассоциации со стильбитом и стронцианитом в цеолитсодержащих пегматитах жил №№ 35, 124–136 и 145 среди пироксеновых фенитов (Еськова и др., 1964). Кальцийсодержащий гармотом обнаружен в 2006 г. А.М. Кузнецовым в полости мелкокристаллического агрегата алланита-(Ce)-ферриалланита-(Ce) в образце из отвала жилы № 35. Гармотом образует сростки до 1.5 мм досковидных кристаллов белого и желтоватого цвета со стекляннным блеском (рис. 13) в ассоциации с альбитом, бастнезитом-(Ce), пиритом и титанитом. В другом образце, найденном там же в 2018 г., гармотом образует нитевидные прожилки толщиной не более 10 мкм и длиной до 4 мм, секущие альбит и калиевый полевой шпат и местами замещенные пиритом (рис. 14а), а также таблитчатые кристаллы до 100 мкм в альбите со Sr-содержащим баритом (рис. 14б). В этой же ассоциации находятся алланит-(Ce), анкилит-(Ce), бастнезит-(Ce), колумбит-(Mn), колумбит-(Fe), ниобозинит-(Y), фторапатит, циркон и шеелит. Химический состав гармотома (табл., ан. 9) отвечает формуле $(\text{Ba}_{1.26}\text{Ca}_{1.04}\text{Na}_{0.43}\text{K}_{0.26})_{\Sigma 2.99}[\text{Al}_{4.96}\text{Si}_{10.95}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{32} и $12\text{H}_2\text{O}$).

Шабазит-Са $\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ («шабазит») выявлен Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951) в виде одиночных желтых полупрозрачных кубо-

видных ромбоэдров и двойников прорастания до 1–2 мм в пустоте среди агрегата натролита и нефелина в образце из отвалов жилы № 5 на г. Каравай. Плотность шабазита 2.11 г/см^3 , показатели преломления $n_g 1.493$ и $n_p 1.490$ (Бонштедт-Куплетская, 1951). Нами в 1983–1984 гг. в отвалах

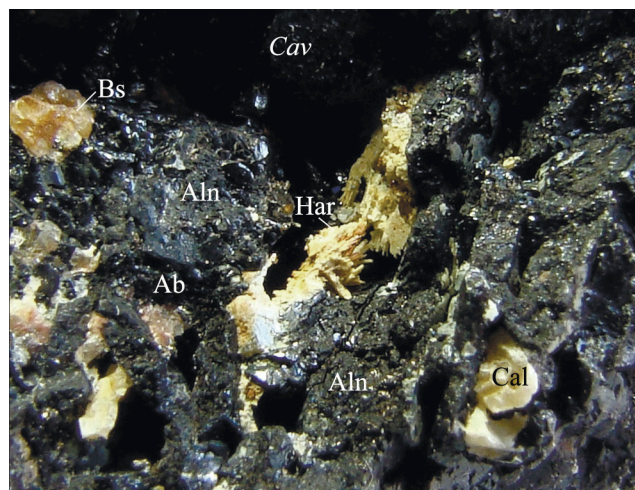


Рис. 13. Агрегат желтоватых кристаллов гармотома (Har) в полости черного алланита-(Ce)-ферриалланита-(Ce) (Aln).

Bs – бастнезит-(Ce), Cal – кальцит (подтравлен), Ab – альбит, Cav – полость. Размер фото – 8×6 мм. Жила № 35, образец и фото А.М. Кузнецова.

Fig. 13. Yellowish harmotome crystals (Har) in cavity of black allanite-(Ce)-ferriallanite-(Ce) (Aln).

Bs – bastnaesite-(Ce), Cal – calcite (etched), Ab – albite, Cav – cavity. Image size is 8×6 mm. Vein no 35, specimen and photo of A.M. Kuznetsov.

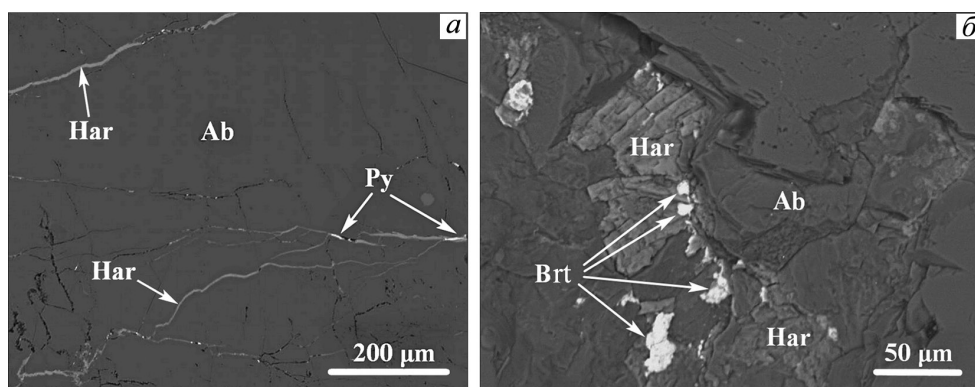


Рис. 14. Нитевидные жилки гармотома (Har) с пиритом (Py) в альбите (Ab) (а) и таблитчатые кристаллы гармотома с баритом (Brt) в альбите (б).

BSE фото А.В. Касаткина.

Fig. 14. Fine harmotome (Har) veinlets with pyrite (Py) (a) and tabular harmotome crystals with barite (Brt) in albite (Ab) (б).

BSE photo of A.V. Kasatkin.

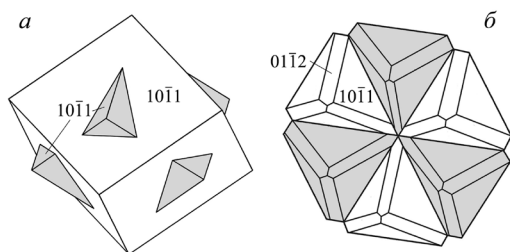


Рис. 15. Двойники прорастания шабазита-Са.

а – по В.А. Попову, б – по Е.П. Макагонову.

Fig. 15. Interpenetration twins of chabazite-Ca.

а – after V.A. Popov, б – after E.P. Makagonov.

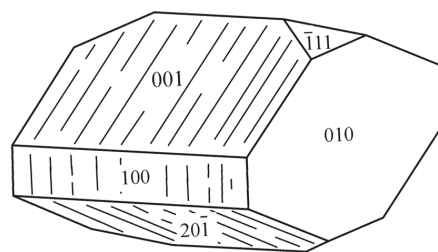


Рис. 16. Кристалл гейландита-(Са).

Чертеж Е.П. Макагонова.

Fig. 16. Heulandite-(Ca) crystal.

Drawing by E.P. Makagonov.

жил № 32 и № 35 встречены подобные двойники прорастания бесцветного шабазита как с гранями одного ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$, так и двух ромбоэдров (рис. 15). Состав шабазита-(Са) изучен для двойника, сходного с изображенным на рисунке 15б двойником из сиенит-пегматита № 32. Состав его разных участков (возможно, пирамид нарастания разных ромбоэдров) отличается содержаниями оксидов К и Ва (табл., ан. 10 и 11). Эмпирические формулы минерала (расчет на O_{24} и $12H_2O$) – $(Ca_{1.33}K_{0.54}Sr_{0.07}Na_{0.05}Ba_{0.02})_{\Sigma 2.01}(Al_{3.32}Si_{8.62}Fe^{3+}_{0.04})_{\Sigma 11.98}O_{24} \cdot 12H_2O$ и $(Ca_{1.26}Ba_{0.33}K_{0.21}Na_{0.04}Sr_{0.01})_{\Sigma 1.84}Al_{3.83}Si_{8.24}O_{24} \cdot 12H_2O$, соответственно.

Гейландит-Са $(Ca,Na)_5(Al_9Si_{27}O_{72}) \cdot 24H_2O$ как «гейландит» впервые указан без описания в поздних цеолитовых прожилках со стильбитом («десмином») и шабазитом, секущих брекчированные карбонатиты в зоне западного контакта миаскитового массива (Еськова и др., 1964). Позднее он был найден в образцах жил с поздней минерализацией в шахте Капитальная геологами Н.М. Некрасо-

вой и О.Б. Устиновым (Попов, Нишанбаев, 1993), а А.М. Кузнецовым – в отвалах жилы № 35. Кристаллы гейландита-Са размером до первых миллиметров обычно удлинены по оси $[010]$ со спайностью по пинакоиду $\{010\}$ (рис. 16) и образуют друзовидные агрегаты с кальцитом, шабазитом-Са и пиритом. ИК спектр и оптические константы гейландита-Са близки справочным данным. В сечении $\Pi(010)$ слабо проявлена оптическая зональность с постепенным снижением преломления к периферии кристалла. Гейландит-Са отмечен в полевошпатовых жилах с эгирином и щелочными амфиболами среди фенитов западного экзоконтакта миаскитового массива (Пеков и др., 2004). В жиле № 129 (г. Долгая) гейландит-Са образует сростки бледно-коричневых прозрачных со стеклянным блеском толстотаблитчатых кристаллов до 1 см.

Химический состав гейландита-Са (табл., ан. 12) при расчете на O_{72} и $24H_2O$ соответствует формуле $(Ca_{2.47}Sr_{1.81}K_{1.71}Na_{0.11}Ba_{0.06})_{\Sigma 6.16}[Al_{9.02}Si_{26.61}O_{72}] \cdot 24H_2O$. Параметры моноклинной элементарной ячей-



Рис. 17. Друза бесцветных таблитчатых кристаллов гейландита-Sr с розоватым альбитом и темно-зеленым диопсидом из жилы № 35.

Размер фото – 2 × 1.6 см. Образец и фото А.М. Кузнецова.

Fig. 17. Druse of tabular colorless heulandite-Sr crystals with pinkish albite and dark green diopside from vein no. 35.

Image size is 2 × 1.6 cm. Sample and photo of A.M. Kuznetsov.

ки гейландита-Ca (Å): $a = 7.4298(12)$, $b = 17.720(3)$, $c = 17.900(4)$, $\beta = 116.49(2)^\circ$, $V = 2109.3(7) \text{ Å}^3$ (данные монокристалльной рентгеновской дифрактометрии).

Гейландит-Sr $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{K}, \text{Na})_5[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ найден А.М. Кузнецовым в отвалах жилы № 35 в 2003 г. в небольшой полости среди агрегата розоватого альбита, темно-зеленого диопсида, черного алланита-(Се) и белого волокнистого мейонита. Кристаллы минерала размером до 0.5–2 мм брусковидные до таблитчатых (рис. 17), бесцветные

и прозрачные со стекляннным блеском, по форме подобны кристаллам гейландита-(Ca), но нередко более удлиненные по оси [010]. Химический состав отвечает формуле $(\text{Sr}_{2.25}\text{Ca}_{1.57}\text{K}_{1.02}\text{Na}_{0.65}\text{Ba}_{0.04})_{\Sigma 5.53}[\text{Al}_{8.90}\text{Si}_{26.98}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{72} и $24\text{H}_2\text{O}$) (табл., ан. 13). Параметры моноклинной элементарной ячейки (Å): $a = 17.769(6)$, $b = 17.870(2)$, $c = 7.450(2)$; $\beta = 116.49(4)^\circ$, $V = 2117(1) \text{ Å}^3$ (данные монокристалльной рентгеновской дифрактометрии).

Гейландит-K $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{Ba})_5(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ установлен А.В. Касаткиным в образцах из жилы № 129 в штольне № 7, отобранных А.М. Кузнецовым в 1993 г. Гейландит-K образует мелкие друзы кристаллов до 2–5 мм от таблитчатого до толстотаблитчатого облика с преобладанием граней пинакоидов {010}, {20 $\bar{1}$ } и {100} (рис. 18). Ранее присутствие гейландита-K предполагалось В.А. Поповым по форме уплощенных по оси [010] таблитчатых кристаллов размером 0.05–0.3 мм с соотношением содержания К/Са ~1.3 и небольшой примесью Na и Ba (по ЭД спектру) в образце, отобранном С.Ю. Крюковым из цеолитсодержащей жилы нефелин-полевошпатового пегматита в карьере г. Долгой. Химический состав гейландита-K соответствует формуле $(\text{K}_{1.85}\text{Na}_{1.50}\text{Sr}_{1.05}\text{Ca}_{1.01}\text{Ba}_{0.74})_{\Sigma 5.53}[\text{Al}_{8.75}\text{Si}_{27.20}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{72} и $24\text{H}_2\text{O}$) (табл., ан. 14). Параметры моноклинной элементарной ячейки гейландита-K (Å): $a = 7.4370(12)$, $b = 17.902(3)$, $c = 17.762(3)$, $\beta = 116.614(18)^\circ$, $V = 2114.2(6) \text{ Å}^3$ (данные монокристалльной рентгеновской дифрактометрии).

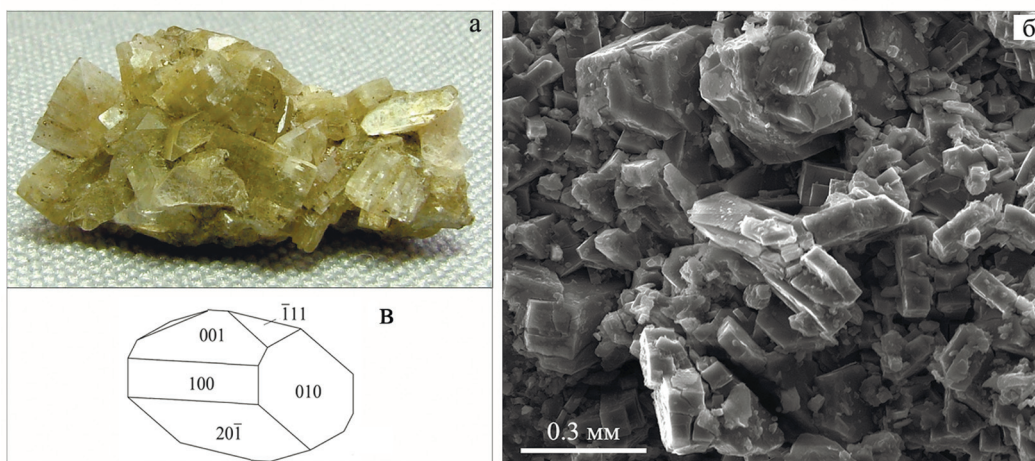


Рис. 18. Агрегаты кристаллов гейландита-K (а, б) и идеализированная форма кристалла (в). Образец 2 см (а), жила № 129. Фото А.М. Кузнецова (а) и И.А. Блинова (б); чертёж В.А. Попова.

Fig. 18. Aggregates of heulandite-K crystals (a, б) and its idealized form (в).

Sample is 2 cm (a), vein no. 129. Photo of A.M. Kuznetsov (a) and I.A. Blinov (б); drawing by V.A. Popov.

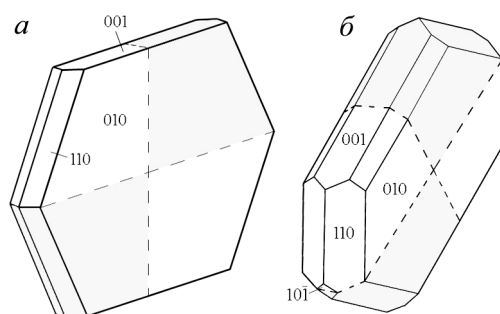


Рис. 19. Двойники прорастания стилбита-Са.

а – по И.В. Пекову (в нестандартной установке), б – по Е.П. Макагонову.

Fig. 19. Interpenetration twins of stilbite-Ca.

а – after I.V. Pekov (in non-standard setting), б – after E.P. Makagonov.

Стильбит-Са $(\text{NaCa}_4)[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot 28\text{H}_2\text{O}$ как «десмин» впервые указан без описания в поздних цеолитсодержащих жилах (Чесноков, 1963; Еськова и др., 1964). Позднее он был найден в виде тонкотаблитчатых, уплощенных по оси $[010]$ сдвойникованных кристаллов размером до 2 мм (рис. 19а), выросших на стенки полостей трещин среди фенитов в жиле № 125 (Пеков и др., 2004). Удлиненно-таблитчатые двойники прорастания стилбита-Са с более богатым ограничением встречаются в образцах из района жилы № 137 (рис. 19б). Химический состав стилбита-Са из жилы № 125 (табл., ан. 15) соответствует эмпирической формуле $(\text{Ca}_{4.0}\text{Na}_{0.77})_{\Sigma 4.77}[\text{Al}_{8.02}\text{Si}_{27.79}\text{O}_{72}] \cdot 28\text{H}_2\text{O}$ (Пеков и др., 2004).

Брюстерит-Sr $\text{Sr}_2(\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32}) \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – редкий цеолит – диагностирован А.В. Касаткиным в образцах А.М. Кузнецова, отобранных в 1993 г. на г. Долгой из разведочной штольни № 7 (горизонт +230 м) по жиле № 129 (~ в 700 м ЮЮВ ствола шах-



Рис. 20. Таблитчатые кристаллы коричневатого брьюстерита-Sr до 5 мм на кальците с черным алланитом-(Ce) из жилы № 129 на г. Долгой.

Образец (2×1×1 см) и фото А.Д. Касаткиной.

Fig. 20. Tabular brownish brewsterite-Sr crystals up to 5 mm on calcite with black allanite-(Ce) from vein no. 129 at Mt. Dolgaya.

Sample (2×1×1 cm) and photo of A.D. Kasatkina.

ты Капитальная). Минерал образует коричневатые просвечивающие таблитчатые кристаллы размером до 3–5 мм со стекляннным блеском и агрегаты кристаллов в ассоциации с алланитом-(Ce), кальцитом и калиевым полевым шпатом (рис. 20). По сравнению с подобным по форме гейландитом-К, кристаллы брьюстерита-Sr удлинены по оси $[010]$ и отличаются слабым развитием граней пинакоида $\{100\}$ (рис. 21). Химический состав брьюстерита-Sr (табл., ан. 16) соответствует эмпирической формуле $(\text{Sr}_{1.72}\text{Ba}_{0.30}\text{Na}_{0.12}\text{K}_{0.07}\text{Ca}_{0.08})_{\Sigma 2.29}[\text{Al}_{3.96}\text{Si}_{11.93}\text{O}_{32}] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{32} и $10\text{H}_2\text{O}$). Параметры моноклинной элементарной ячейки отвечают брьюстериту: $a =$

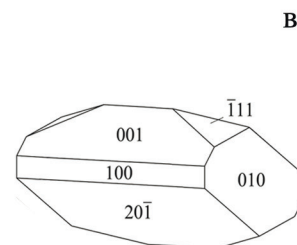


Рис. 21. Фрагменты друз брьюстерита-Sr (а, б) из жилы № 129 на г. Долгой и форма его кристалла (в).

Образцы (до 3 мм) и фото А.М. Кузнецова; чертёж В.А. Попова.

Fig. 21. Fragments of druses of brewsterite-Sr crystals from vein no. 129 (a, б) at Mt. Dolgaya and its morphology (v). Samples (up to 3 mm) and photos of A.M. Kuznetsov; drawing by V.A. Popov.

6.7848(11) Å, $b = 17.517(2)$ Å, $c = 7.750(4)$ Å, $\beta = 94.34(2)^\circ$, $V = 918.5(5)$ Å³ (данные монокристалльной рентгеновской дифрактометрии).

Каулсит $\text{Ca}[(\text{Al}_2\text{Si}_3)\text{O}_{10}] \cdot 5\text{-}6\text{H}_2\text{O}$ (?) был предположен в 2014 г. М.А. Рассомахиным по составу и КР спектру в сростке пластинчатых кристаллов цеолита в ассоциации с кальцитом, стронцианитом, натролитом, анальцимом, давсонитом, шамозитом и другими минералами из содалит-канкринитового пегматита горизонта 480 м карьера на СЗ склоне г. Кобелихи, но по расчету отнесен к шабазиту-Са (Нишанбаев и др., 2016). Нами минерал по составу (табл., ан. 17) отнесен к Sr-содержащему каулситу с эмпирической формулой $(\text{Ca}_{0.64}\text{Sr}_{0.37}\text{K}_{0.14}\text{Na}_{0.03}\text{Ba}_{0.01})_{\Sigma 1.19}[\text{Al}_{2.02}\text{Si}_{2.89}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_{10}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (расчет на O_{10} и $6\text{H}_2\text{O}$). Избыток катионов в позиции А и дефицит суммы анализа, возможно, обусловлены захватом стронцианита при анализе. Близкий по составу цеолит встречен в 2001 г. В.А. Поповым в поздних прожилках, секущих канкринит в миаскитовом пегматите Северного карьера на г. Долгой (в настоящее время это единый полевошпатовый карьер Надежда). Поскольку рентгенографическое исследование вишневогорского каулсита не проведено, его диагностику нельзя считать окончательной. В России Sr-содержащий каулсит ранее отмечался в Ловозерском массиве (Пеков, 2001).

Заключение

Цеолитовая минерализация в Вишнёвых горах широко проявлена в северо-западном эндоконтакте Центрального миаскитового массива и Седловидной залежи миаскитов, вмещающей рудные тела Вишневогорского месторождения ниобиевых руд. В крупных жилах нефелин-полевошпатовых пегматитов в остаточных друзовых полостях на нефелине, канкрините и полевых шпатах кристаллизовались анальцит, натролит и, частично, поздние цеолиты (паранатролит и другие). Поздние цеолит-содержащие прожилки, секущие щелочные пегматиты и жильные карбонатиты, выполняют полости субмеридиональных трещин, вскрытых выработками шахты Капитальная, карьером и штольней по жиле № 35 в рудной зоне 147, карьерами на горах Долгой и Кобелихе и на жилах №№ 116, 137, 141, 144, 145.

К настоящему времени в жилах и прожилках Вишнёвых гор выявлены и в разной степени изучены 16 цеолитов – анальцит, натролит,

гоннардит, паранатролит, сколецит, мезолит, гарронит, филлипсит-К, гармотом, шабазит-Са, гейландит-Са, гейландит-Sr, гейландит-К, стильбит-Са, брүстерит-Sr и, предположительно, каулсит. Гарронит-Na является первой находкой в России и второй – в мире. Ряд цеолитов (брүстерит-Sr, гейландит-К, гейландит-Sr, мезолит и филлипсит-К) выявлены впервые для территории Вишнёвых гор.

Авторы признательны руководству и геологам Вишневогорского рудоуправления и ОАО «Вишневогорский ГОК», в разные годы способствовавших проведению исследований минералогии Вишнёвых гор, Ф. Нестолу (Университет г. Падуа, Италия) – за монокристалльную съёмку ряда образцов, И.А. Блинову и В.А. Котлярову – за анализы цеолитов, С.С. Суставову и П.В. Хворову – за рентгеноструктурные анализы, А.В. Донскову (г. Миасс) и С.Ю. Крюкову (г. Снежинск) за образцы для исследования, Е.В. Белогуб – за замечания.

Литература

- Белянкин Д.С. (1933) О воде в некоторых минералах. *Труды Петрографического института АН СССР*, 4, 65–71.
- Бонштедт-Куплетская Э.М. (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М., АН СССР, 176 с.
- Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. (1964) Минералогия и геохимия редких элементов Вишнёвых гор. М., Наука, 319 с.
- Кобяшев Ю.С., Никандров С.Н. (2007) Минералы Урала (минеральные виды и разновидности). Екатеринбург, Квадрат, 312 с.
- Макагонов Е.П., Никандров С.Н. (1990) Двойники натролита симметрии $\bar{4}m2$ из Вишнёвых гор. *Региональная минералогия Урала: тез. докл. II регион. совещ. «Минералогия Урала»*, 1, 62–63.
- Никандров С.Н. (1989) Поздняя минерализация Вишневогорского месторождения ниобия: *Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук*. Миасс, Ильменский государственный заповедник, 18 с.
- Нишанбаев Т.П., Рассомахин М.А., Блинов И.А., Попова В.И. (2016) Минералы содалит-канкринитового пегматита в Вишневогорском миаскитовом массиве (Южный Урал). *Минералогия*, 2(3), 40–52.
- Пеков И.В. (2001) Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы. М., Ассоциация «ЭкоСт», 432 с.
- Пеков И.В., Турчкова А.Г., Ловская Е.В., Чуканов Н.В. (2004) Цеолиты щелочных массивов. М., Ассоциация «ЭкоСт», 168 с.

Попов В.А., Нишанбаев Т.П. (1993) Целестин, апофиллит, гейландит и гизингерит из Вишнёвых гор. *Уральский минералогический сборник № 1*, 56–59.

Роненсон Б.М. (1966) Происхождение миаскитов и связь с ними редкометалльного оруденения. М., Недра, вып. **28**, 173 с.

Чесноков Б.В. (1963) Жилы альпийского типа в щелочных породах Вишнёвых гор. *Геология и полезные ископаемые Урала. Тр. Свердловск. горн. ин-та*, **42**, 143–151.

Чесноков Б.В., Попов В.А., Никандров С.Н., Баженова Л.Ф., Корнилов Ю.Б., Жданов В.Ф. (1984) Тенардит-мирабилитовая минерализация в миаскитах Вишневых гор на Урале. Материалы по минералогии месторождений Урала. Свердловск, УНЦ АН СССР, 24–33.

Grice, J.D., Rowe, R., and Poirier, G. (2016). Garronite-Na, a new zeolite species from Mont Saint-Hilaire, Québec. *Canadian Mineralogist*, **54**, 1549–1562.

References

Belyankin D.S. (1933) [About water in some minerals]. *Trudy Petrograficheskogo instituta AN SSSR [Proceedings of Petrographic Institute of Academy of Sciences of USSR]*, **4**, 65–71. (in Russian)

Bonstedt-Kupletskaya E.M. (1951) [Mineralogy of alkali pegmatites of the Vishnevy Mountains]. Moscow, AN SSSR, 176 p. (in Russian)

Chesnokov B.V. (1963) [Alpine-type veins in alkaline rocks of the Vishnevy Mountains]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Urala. Trudy Sverdlovskogo gornogo instituta [Geology and Mineral Resources. Proceedings of Sverdlovsk Mining Institute]*, **42**, 143–151. (in Russian)

Chesnokov B.V., Popov V.A., Nikandrov S.N., Bazhenova L.F., Kornilov Yu.B., Zhdanov V.F. (1984) [Tenardite-mirabilite mineralization in miaskites from Vishnevy Mountains in the Urals]. *Materialy po mineralogii mestorozhdeniy Urala [Materials on mineralogy deposits of the Urals]*. Sverdlovsk, UNTS AN SSSR, 24–33. (in Russian)

Es'kova E.M., Zhabin A.G., Muchitdinov G.N. (1964) [Mineralogy and geochemistry of rare elements of the Vishnevy Mountains]. Moscow, Nauka, 319 p. (in Russian)

Grice J.D., Rowe R., Poirier G. (2016) Garronite-Na, a new zeolite species from Mont Saint-Hilaire, Québec. *Canadian Mineralogist*, **54**, 1549–1562.

Kobylashev Yu.S., Nikandrov S.N. (2007) [Minerals of the Urals: mineral species and varieties]. Yekaterinburg, Kvadrat, 312 p. (in Russian)

Makagonov E.P., Nikandrov S.N. (1990) [Natro-lite twins of symmetry 4'm2' from Vishnevy Mountains]. *Regionalnaya mineralogiya Urala: tez. dokl. II region. soveshan. «Mineralogiya Urala» [Regional mineralogy of Urals. Tesis of reports II regional. conf. «Mineralogy of Urals»]*, **1**, 62–63. (in Russian)

Nikandrov S.N. (1989) [Late mineralization of the Vishnevogorsky Nb deposit]. *Abstract of Dissertation of Candidate of Geol.-Mineral. Sciences*. Miass, Ilmeny State Reserve, 18 p. (in Russian)

Nishanbaev T.P., Rassomakhin M.A., Blinov I.A., Popova V.I. (2016) [Minerals of sodalite–cancrinite pegmatites from the Vishnevogorsky miaskite massif (South Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **2**(3), 40–52. (in Russian)

Pekov I.V. (2001) [Lovozero massif: history of study, pegmatites, and minerals]. Moscow, Assotsiatsiya «Ekost», 432 p. (in Russian)

Pekov I.V., Turchkova A.G., Lovskaya E.V., Chukanov N.V. (2004) [Zeolites of alkaline complexes]. Moscow, Assotsiatsiya «Ekost», 168 p. (in Russian)

Popov V.A., Nishanbaev T.P. (1993) [Celestine, apophyllite, heulandite, and hisingerite from Vishnevy Mountains]. *Uralskiy mineralogicheskiy sbornik [Urals Mineralogical Collection]*, (1), 56–59. (in Russian)

Ronenson B.M. (1966) [Origin of miaskites and related rare metal mineralization]. Moscow, Nedra, **28**, 174 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 4 марта 2020 г.