

УДК 549.67

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛАХ ШИШИМСКОЙ КОПИ, ШИШИМСКИЕ ГОРЫ, ЮЖНЫЙ УРАЛ, РОССИЯ

С.Н. Ненашева, А.А. Агаханов

*Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, РАН, Москва, nenashevasn@mail.ru, atal@mail.ru*

В образцах скарна из Шишимской копи (Ю. Урал) установлены новые для нее минералы: таумасит  $\text{Ca}_3(\text{SO}_4)[\text{Si}(\text{OH})_6](\text{CO}_3) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , описанный на Урале только в Николае-Максимилиановской копи; известь  $\text{CaO}$ , известную на Гумешевском месторождении и в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна; ферроакерманит  $\text{Ca}_2\text{Fe}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ , ранее не встречавшийся в природе, но известный как синтетический продукт. Кроме того, обнаружены новые минеральные фазы: фаза А  $\text{Mg}_{10}[(\text{Si}_{6,6}\text{Al}_{3,4})_{10}\text{O}_{28}] \cdot 8,6\text{H}_2\text{O}$  и фаза X с эмпирической формулой  $(\text{Ca}_{1,98}\text{V}_{0,02})_{2,00}(\text{OH})_{0,86}(\text{PO}_4)_{0,86}(\text{Si}_2\text{O}_7)_{0,07}(\text{SO}_4)_{0,14}\text{Cl}_{0,03}$ . Ферроакерманит — железистый аналог акерманита  $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$  — минерала группы меллита. Ранее минералы этой группы не встречались на Урале. Перечисленные новые для Шишимской копи минералы и минеральные фазы находятся в тесных сростаниях друг с другом и с уже известными на этой копи кальцитом, монтичеллитом, форстеритом, диопсидом, хондродитом, перовскитом, кордиеритом, магнезиоферритом и другими минералами.

В статью 4 таблицы, 6 рисунков, список литературы из 26 наименований.

Ключевые слова: Шишимская копь, таумасит, известь, ферроакерманит, новые минеральные фазы.

Шишимская копь расположена в 5 км к югу от деревни Медведёвка, в 1 км восточнее реки Ай, на правом берегу реки Бравиловки. Она была заложена в 1833 году горным инженером Н.П. Барботом-де-Марни с целью добычи коллекционного хлорита. Копь является самой южной из копей Назямских и Шишимских гор и располагается в массиве интенсивно амфиболитизированного и эпидотизированного средне-крупнозернистого габбро около его контакта с кварцитами (Мясников, 1954). Северная часть копи находится в мраморизованных известняках — крупном ксенолите в габбро. Южнее известняки выклиниваются и сменяются контактными образованиями: пироксен-хлоритовыми, хлорит-серпентинитовыми, хлоритовыми, амфибол-хлоритовыми, амфиболовыми, гранат-хлоритовыми (лейхтенбергитовыми), гранат-везувиановыми и гранатовыми породами — плотными массивными или рассланцованными. По мнению В.А. Попова (Попов, 2011), в массиве габбро существует разломная структура, где происходило формирование скарновой минерализации. Скарны состоят из мелкозернистого желтого андрадита, голубоватого кальцита, кристаллов перовскита, серовато-коричневого монтичеллита, форстерита, бесцветного диопсида, зеленого клинохлора. Минералогия Шишимской копи активно изучалась, в том числе такими известными минералогами, как П.О. Евреинов, Г. Розе, П.В. Еремеев, Н.И. Кокшаров, И.В. Мушкегов, В.С. Мясников, В.А. Попов и многими другими. Здесь впервые П.О. Евреинов описал лейхтенбергит (Евреинов, 1842). В 2001 г. В.А. Поповым были описаны индиви-

ды монтичеллита и кристаллы апатита, достигающие размеров 3–5 см по длинной оси (Попов, 2001). Среди минералов Шишимской копи встречаются: везувиан, ганит, гидраргилит (гиббсит), гранат (андрадит, гроссуляр, альмадин), пироксен (диопсид), амфиболы (актинолит, роговая обманка с размером кристаллов до 10–15 см), полевые шпаты (основной плагиоклаз, альбит), хлориты (лейхтенбергит), слюды (клинтонит), серпентин, турмалин, клиногумит, гематит, магнетит, титаномagnetит, перовскит, пирит, кальцит, тальк-апатит (продукты разложения апатита), хлорошипель, хондродит, элестадит, эпидот и другие минералы.

Нами изучались образцы из Шишимской копи, собранные во время полевой экскурсии, организованной для участников VI Всероссийского совещания, состоявшегося в Миассе 22–26 августа 2011 г.

### Методы исследований

Химический состав минералов изучался на электронном микроанализаторе JСХА-733 Superprobe JEOL (система анализа INCA Energy Oxford, энергодисперсионный (Si-Li) детектор с тонким окном АТW-2,  $U = 20$  кВ,  $I = 2$  нА). В качестве эталонов использовались:  $\text{SiK}\alpha$  — кварц,  $\text{AlK}\alpha$  — альбит,  $\text{CaK}\alpha$  — волластонит,  $\text{MgK}\alpha$  —  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{NaK}\alpha$  — жадеит,  $\text{KK}\alpha$  — микроклин,  $\text{MnK}\alpha$  —  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{FeK}\alpha$  —  $\text{FeO}$ ,  $\text{TiK}\alpha$  —  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{BaK}\alpha$  —  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrL}\alpha$  —  $\text{SrF}_2$ .

Рентгенограммы получались на дифрактометре ДРОН-2 с графитовым монохроматором на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении, а также методом Дебая-Шерера в камере РКД-57.3, на рентгенов-

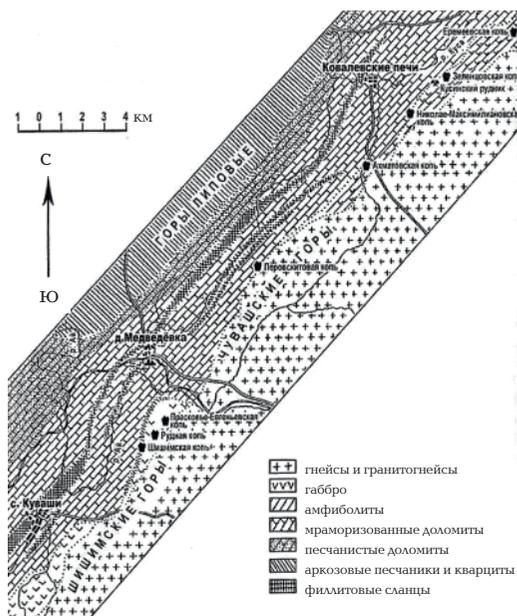


Рис. 1. Схема геологического строения Шишимских, Чувашских и Назымских (Назминских) гор (по В.С. Мясникову, 1954).

ском аппарате УРС-50 на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении с Ni фильтром.

## Результаты исследований

Были изучены образцы скарна, состоящего из голубоватого кальцита, желтого прозрачного мелкозернистого андрадита, светло-серого монтичеллита, бесцветного форстерита, удлинённых призматических кристаллов диопсида, красновато-бурых зерен хондрита, серых — кордиерита, мелких выделений темно-коричневого перовскита, магнезиоферрита. Кроме этих и других минеральных видов, известных на Шишимской копи, нами был обнаружен таумасит, ранее изученный только в образцах Николаево-Максимилиановской копи (Ю. Урал), близкой по геологической обстановке к Шишимской копи (рис. 1).

**Таумасит** —  $\text{Ca}_3(\text{SO}_4)[\text{Si}(\text{OH})_6](\text{CO}_3) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  впервые был обнаружен Гумзелиусом в 1874 г. в Швеции на месторождении Орескутан (Минералы, 1972, с. 363). Позднее этот минерал встречали в Норвегии, в Центральном Казахстане, в Узбекистане, в штате Юта (США) и в других месторождениях. Большая часть находок таумасита сделана в магнезиально-скарновых метасоматитах.

В Николаево-Максимилиановской копи Южного Урала таумасит выполняет «секу-

щую трещину в мелкозернистой эпигото-диопсидовой породе на глубине 154 м» (Жабин, 1957). Описывая историю изучения таумасита, А.Г. Жабин сообщает, что он видел его и «в образцах везувиано-гранатовых пород с элестадитом и монтичеллитом из Шишимской копи, полученных от В.С. Мясникова». Других сведений о таумасите из Шишимской копи нам неизвестно. А.Г. Жабин считает, что таумасит «гипогенный, генетически связанный с низкотемпературным гидротермальным процессом в самые последние стадии формирования зон скарновых пород» (Жабин, 1957).

Таумасит встречается в месторождениях различных типов. Описана находка таумасита в флогопит-диопсидовых метасоматитах Кургинского ультраосновного-щелочного массива на Кольском полуострове (Портнов, Солнцев, 1971). Там он завершает цеолитовую стадию минералообразования, приуроченную к зонам контакта сиенитов с ультрабазитами. Таумасит обрастает шабазит и развивается по тончайшим трещинкам в диопсид-флогопитовой породе, замещая пироксен и слоду.

Редки находки этого минерала в кимберлитовых трубках. В Якутии он обнаружен в трубках Новинка и Комсомольская, где отмечаются две формы выделения таумасита: в виде ветвящихся, часто пересекающихся прожилков мощностью от 1 до 4 мм и в виде желваков (Смирнов, Харьков, 1960). По мнению авторов, таумасит образовался в трубках за счет воздействия на ксенолиты известняков слабокислых гидротермальных растворов, поднимавшихся по трещинкам в кимберлите.

Обнаружен таумасит в пустотах измененных диабазов зоны вкрапленных медно-никелевых руд Талнахского месторождения (Рябов, Столповская, 1973), шаровых андезит-базальтовых лав Грузии (Степанов, Матросова, Быков, 1981). Интересна находка таумасита в необычном типе пород — природном портландцементе, сформированном под воздействием высокой температуры на битуминозный мел, мрамор, известняк — формация Хартрурим в Израиле (Gross, 1977). В месторождении Форт Портал в Уганде он в ассоциации с кальцитом заполняет пузыри в карбонатной лаве (Barker, Nixon, 1989). В рудах месторождения Цумеб, таумасит встречается в виде призматических кристаллов на реньерите (Gebhard, 1999).

Известны прозрачные бледно-желтые гексагональные кристаллы таумасита размером до 56 x 35 x 20 мм из Южной Африки

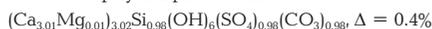
(N'Chwaning Mine, Kuruman, Kalahari Manganese Field, Northern Cape Province). Состав таумасита из этого месторождения соответствует формуле  $\text{Ca}_{3,10}\text{Si}_{1,06}(\text{OH})_{6,37}(\text{SO}_4)_{1,00}(\text{CO}_3)_{0,99} \cdot 11,6\text{H}_2\text{O}$  (Grubessi *et al.*, 1986). В структуре таумасита установлены  $[\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{4+}$  колонки, выстроенные параллельно [001], соединенные группами  $\text{CO}_3$  и  $\text{SO}_4$  через водородные связи с молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  (Jacobsen *et al.*, 2003). Гексагональный кристалл из месторождения N'Chwaning Mine изучался методами монокристаллической нейтронной дифракции и Рамановской спектроскопии (Gatta *et al.*, 2012). В результате установлены основные структурные ячейки –  $\text{CO}_3$  группы,  $\text{SO}_4$  тетраэдры,  $\text{Si}(\text{OH})_6$  октаэдры и  $\text{Ca}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_4$  полиэдры, объединенные десятью различными водородными связями. По мнению авторов, таумасит является первично-вторичным минералом и индикатором сульфатного воздействия на порланд цемент.

Нами таумасит обнаружен в 2 образцах скарна из Шишимской копи. В одном образце он в виде снежно-белых призматических (до игольчатых) кристаллов заполняет трещину  $7 \times 0,5$  см в скарне. В другом таумасит представлен мономинеральными прожилками параллельно-волокнистого строения мощностью 2–3 мм. Химические анализы таумасита (табл. 1) выполнены на материале, взятом из 4 участков образца, в котором он заполняет трещину. Как видно из таблицы, его состав достаточно постоянен. На рисунке 2 показана форма выделений таумасита, а на рисунке 3 – его ассоциация с монтчеллитом и новой фазой, установленной на Шишимской копи и названной условно «фаза А». Средний состав таумасита по 8 анализам (табл. 1) пересчитывается на формулу, близкую к теоретической. Количество воды относительно теоретического состава несколько занижено, но литературные данные о содержании воды в таумасите разные. В справочнике (Минералы, 1972, с. 364) говорится, что таумасит – мине-

Таблица 1. Химический состав таумасита, мас. %

№ ан.	Ca	Mg	Si	S	O	Сумма
1	26.91	Н.о.	6.53	6.89	28.5	68.84
2	23.70	0.22	4.99	6.00	24.26	59.16
3	25.83	0.41	5.66	6.55	26.83	65.28
4	25.33	Н.о.	5.86	6.93	27.16	65.28
5	23.83	Н.о.	5.61	6.51	25.65	61.61
6	25.73	Н.о.	6.34	7.03	28.02	67.11
7	26.64	Н.о.	6.06	6.89	27.85	67.43
8	27.81	Н.о.	6.08	7.12	28.68	69.68
Ср.	25.72	0.08	5.89	6.74	27.12	65.55

Формула в расчете на  $\text{Ca} + \text{Si} = 4$



Примечание. Н.о. – не обнаружено.  $\Delta$ , % – электронейтральность формулы. Недостаток суммы 34,45% (для среднего состава) это вода. Расчет дает  $11,86\text{H}_2\text{O}$ . С учетом воды идеализированная формула:  $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6[\text{CO}_3][\text{SO}_4] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Аналитик А.А. Агаханов.

рал постоянного состава (небольшие примеси Mg, Fe, Al объясняются примесями других минералов), количество воды в формуле меняется от 14 до 15. Там же указывается, что, по Ф. Фогту, наиболее правильной является формула с 14,5  $\text{H}_2\text{O}$ . Таумасит из Николае-Максимилиановской копи (Жабин, 1957) содержит 15  $\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитанная формула таумасита из скважины 841В, пробуренной в задуговом океаническом бассейне Лау (юго-западная часть Тихого океана), содержит 11,25 молекулы  $\text{H}_2\text{O}$  (Schöps, Herzog, 1994). Воду в таумасите из Южной Африки (N'Chwaning mine) определили методом TGA (по потере веса при нагревании), и ее количество оказалось равным 11,6 молекулы в формуле. Для таумасита из Хатрурима (Израиль) приводится формула  $(\text{Ca}_{2,96}\text{Mg}_{0,08}\text{Si}_{1,01}(\text{OH})_{6,00}(\text{SO}_4)_{0,96}(\text{CO}_3)_{0,93}) \cdot 12,3\text{H}_2\text{O}$ . (Gross, 1977). Согласно структурным данным, приведенным выше, в таумасите должно быть 12 молекул воды.

Рентгенограмма таумасита из Шишимской копи (табл. 2) соответствует рентгено-

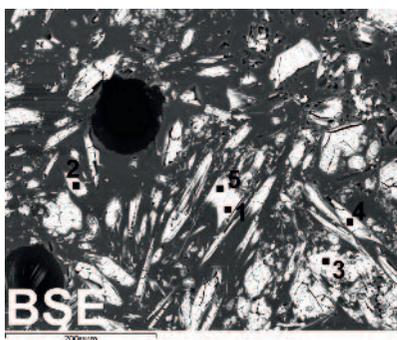


Рис. 2. Ассоциация таумасита с известью. 1, 2, 4, 5 – таумасит (ан. 3, 4, 5, 6, табл. 1); 3 – известь. Маркер 200 мкм.

Рис. 3. Ассоциация таумасита с фазой А, монтчеллитом, известью. 1, 3 – известь; 2 – фаза А (ан. 1, табл. 4); 4 – монтчеллит; 5 – таумасит (ан. 8, табл. 1). Маркер 300 мкм.

Таблица 2. Межплоскостные расстояния таумасита,  $\text{CuK}\alpha$ 

Таумасит из Шишимской копи		ASTM 25-128 (Bayliss <i>et al.</i> , 1986)			
№ п/п	$I$	$d_a$	$I$	$d_a$	$hkl$
1	100	9.5965	100	9.56	100
2	8	7.0604	2	7.04	101
3	30	5.5316	40	5.51	110
4	7	5.2147			
5	11	4.8877	5	4.88	111
6	—	—	5	4.76	200
7	22	4.580	6	4.56	102
8	6	4.3522	4	4.34	201
9	39	3.7937	16	3.78	112
10	4	3.6331	1	3.61	210
11	14	3.5267	6	3.51	202
12	18	3.4202	20	3.41	211
13	5	3.2686			
14	8	3.1938	16	3.18	300
15	7	3.0359	< 1	3.04	301
16	4	2.9405	< 1	2.935	113
17	17	2.7225	2	2.755	220
18	—	—	14	2.713	302
19	2	2.6582	4	2.649	310
20	6	2.6068	< 1	2.599	004
21	6	2.5741	10	2.565	311
22	19	2.5065	10	2.499	213
23	3	2.3668	4	2.357	312
24	3	2.2873	< 1	2.282	204
25	3	2.1984	6	2.191	320
26	13	2.1618			
27	7	2.1103	5	2.106	313
28	—	—	2	2.086	410
29	—	—	4	2.045	411
30	3	2.0260	3	2.019	322
31	3	1.9409	3	1.934	412
32	4	1.9148	10	1.911	500
33	4	1.8113	3	1.809	331
34	—	—	3	1.778	421
35	2	1.7394	3	1.733	332
36	—	—	2	1.692	511
37	3	1.6338	4	1.626	415
38	—	—	< 1	1.570	430
39	3	1.5458	1	1.551	431
40	2	1.4740	1	1.467	522

Примечание. ASTM 25–128 – рентгенограмма таумасита из Северной Ирландии (Knill, Young, 1960).

грамме таумасита из County Down (Северная Ирландия), представленной в справочнике (Knill, Young, 1960; Bayliss *et al.*, 1986).

**Ферроакерманит**  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_7]$  образует мелкозернистые агрегаты желтовато-коричневого цвета со стекляннм блеском в ассоциации с диопсидом, монтичеллитом, форстеритом, фазой А (рис. 4, 5) или с диопсидом, форстеритом, монтичеллитом и фазой Х (рис. 6). Его химический состав показан в таблице 3. Пересчет микронзондовых анализов дает формулу (среднее из 12 анализов)  $(\text{Ca}_{1,87}\text{Mg}_{0,02})_{1,89}(\text{Fe}_{1,11}\text{Ti}_{0,06})_{1,17}[(\text{Si}_{1,85}\text{Al}_{0,09})_{1,94}\text{O}_{6,96}]$ , то есть  $\text{Ca}_2(\text{Fe},\text{Ti})[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7]$ , или  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ . Это ферроакерманит – железистый аналог акерманита  $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ , минерала группы мелилита. Кроме акерманита, к этой группе относятся: геленит  $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSiO}_7]$ , мелилит  $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg})[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7]$ , алюмоакерманит  $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_7]$ . Они образуются на контакте известняков и основных пород (габбро, пироксен-андезитов, диабазов). В минералах группы мелилита широко проявлено замещение  $\text{MgSi}$  на  $\text{AlAl}$ , а также вхождение  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  (Минералы, 1972). Акерманит образует серию твердых растворов с геленитом, однако крайние члены этой серии крайне редки. Минерал, близкий по составу к теоретическому составу акерманита, обнаружен только в выбросах вулкана Везувий, самого древнего из трех его вложенных конусов – Монте-Соммы. Ферроакерманит  $\text{Ca}_2\text{Fe}[\text{Si}_2\text{O}_7]$  известен лишь как синтетический продукт, полученный из стекла соответствующего состава при температуре  $1325^\circ\text{C}$  (Минералы, 1972). Ниже этой температуры он не устойчив. Гидротермальным методом ферроакерманит получен при  $798^\circ\text{C}$  и давлении  $4060 \text{ кГ/см}^2$  (Минералы, 1972). По данным Фойта с соавторами (Foit *et al.*, 1987), твердые растворы существуют и между геленитом  $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSiO}_7]$  и ферригеленитом  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}[\text{AlSiO}_7]$ . Ими в глиноподобной горной породе (buchite), возникшей в результате близповерхностного горения угольного пласта недалеко от Буффало (Buffalo, штат Вайоминг, США), обнаружены пироксены и мелилит, необычно богатые  $\text{Al}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ . Авторы указывают на широкое замещение в мелилите  $\text{Fe}^{3+}\text{Al}^{3+} = \text{Si}^{4+}\text{R}^{2+}$ , где  $\text{R}^{2+}$  двухвалентный катион. Состав продуктов замещения варьирует в ряду геленит – ферригеленит. Последний считается гипотетическим конечным членом мелилитовой группы, возможно, ферроакерманит еще один конечный член этой группы. Ферроакерманит  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{2+}[\text{Si}_2\text{O}_7] \rightarrow$  акерманит  $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7] \rightarrow$  геленит  $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSiO}_7] \rightarrow$  ферригеленит  $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}[\text{AlSiO}_7]$ .

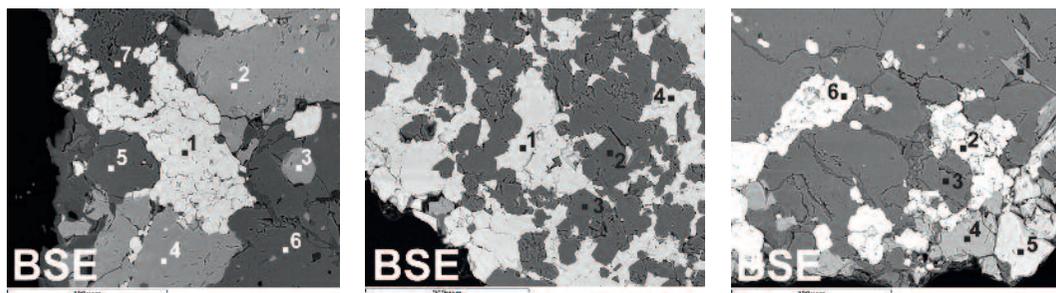


Рис. 4. Тесные сростания ферроакерманита с фазой А, монтичеллитом и форстеритом. 1 – ферроакерманит (ан. 1, табл. 3); 2, 3, 4 – монтичеллит; 5, 6 – форстерит; 7 – фаза А (ан. 2, табл. 4). Маркер 300 мкм.

Рис. 5. Взаимоотношения между ферроакерманитом и фазой А. 1, 4 – ферроакерманит (ан. 4, 5, табл. 3); 2, 3 – фаза А (ан. 3, 4, табл. 4). Маркер 300 мкм.

Рис. 6. Ассоциация: ферроакерманит, фаза X, диопсид, форстерит, монтичеллит. 1 – диопсид; 2, 6 – ферроакерманит (ан. 2, 3, табл. 3); 3 – форстерит; 4 – монтичеллит; 5 – фаза X. Маркер 300 мкм.

Таблица 3. Химический состав ферроакерманита, мас.%

№ ан.	Ca	Mg	Fe	Si	Al	Ti	O	Сумма	Δ, %
1	24.15	Н.о.	19.53	16.31	0.99	0.69	35.15	96.82	0.0
2	23.74	0.18	20.27	16.65	0.47	0.79	35.31	97.41	0.07
3	23.82	0.26	19.88	16.59	0.44	0.78	35.23	97.17*	0.2
4	24.01	Н.о.	19.52	16.74	1.29	Н.о.	35.40	96.96	0.4
5	23.52	0.23	19.20	16.13	0.95	1.02	34.94	95.98	0.07
6	23.62	0.47	19.25	16.24	0.52	1.02	34.89	96.01	0.0
7	23.85	0.30	19.16	16.19	0.71	1.53	35.30	97.04	0.0
8	23.87	Н.о.	19.16	16.24	0.78	1.02	34.90	95.97	0.2
9	23.40	0.57	19.39	16.55	0.66	1.41	35.66	97.64	0.0
10	23.21	0.27	21.71	16.82	0.05	Н.о.	34.87	96.94	0.1
11	24.1	Н.о.	18.81	16.68	1.64	0.36	35.71	97.3	0.0
12	23.8	0.09	19.14	15.99	0.71	1.18	34.67	95.58	0.2
Ср. из 12 ан.	23.76	0.20	19.58	16.43	0.77	0.82	35.17	96.74	0.1

Пересчет анализов на сумму атомов = 12

1	$Ca_{1.91}(Fe_{1.10}Ti_{0.05})_{1.15}[(Si_{1.84}Al_{0.12})_{1.96}O_{6.97}]$
2	$(Ca_{1.86}Mg_{0.02})_{1.88}(Fe_{1.14}Ti_{0.05})_{1.19}[(Si_{1.87}Al_{0.05})_{1.92}O_{6.94}]$
3	$(Ca_{1.87}Mg_{0.03})_{1.90}(Fe_{1.12}Ti_{0.05}Mn_{0.01})_{1.18}[(Si_{1.86}Al_{0.05})_{1.91}O_{6.94}]$
4	$Ca_{1.88}Fe_{1.10}[(Si_{1.87}Al_{0.15})_{2.02}O_{6.97}]$
5	$(Ca_{1.87}Mg_{0.03})_{1.90}(Fe_{1.09}Ti_{0.07})_{1.16}[(Si_{1.83}Al_{0.11})_{1.94}O_{6.95}]$
6	$(Ca_{1.87}Mg_{0.06})_{1.93}(Fe_{1.10}Ti_{0.07})_{1.17}[(Si_{1.84}Al_{0.06})_{1.90}O_{6.94}]$
7	$(Ca_{1.86}Mg_{0.04})_{1.92}(Fe_{1.06}Ti_{0.10})_{1.18}[(Si_{1.82}Al_{0.06})_{1.90}O_{6.96}]$
8	$Ca_{1.90}(Fe_{1.09}Ti_{0.07})_{1.16}[(Si_{1.84}Al_{0.09})_{1.93}O_{6.96}]$
9	$(Ca_{1.83}Mg_{0.07})_{1.90}(Fe_{1.09}Ti_{0.09})_{1.18}[(Si_{1.84}Al_{0.06})_{1.92}O_{6.97}]$
10	$(Ca_{1.83}Mg_{0.04})_{1.87}Fe_{1.23}[(Si_{1.90}Al_{0.01})_{1.91}O_{6.90}]$
11	$Ca_{1.89}(Fe_{1.05}Ti_{0.02})_{1.07}[(Si_{1.87}Al_{0.19})_{2.06}O_{7.00}]$
12	$(Ca_{1.91}Mg_{0.01})_{1.92}(Fe_{1.10}Ti_{0.06})_{1.18}[(Si_{1.83}Al_{0.06})_{1.91}O_{6.98}]$
Ср.	$(Ca_{1.87}Mg_{0.02})_{1.89}(Fe_{1.11}Ti_{0.06})_{1.17}[(Si_{1.85}Al_{0.09})_{1.94}O_{6.96}]$

Примечание. \* – В том числе 0.18 мас. % Mn, что составляет 0.01 а.ф. Идеализированная формула  $Ca_2(Fe,Ti)[(Si,Al)_2O_7]$ , или  $Ca_2Fe[Si_2O_7]$ , соответствует железистому аналогу акерманита –  $Ca_2Mg[Si_2O_7]$ . Δ, % – электронейтральность формулы. Аналитик А.А. Агаханов.

Таблица 4. Химический состав фазы А, мас. %

№ ан.	Mg	Fe	Si	Al	O	Сумма	Δ, %
1	19.89	0.79	16.20	7.67	38.60	83.15	0.0
2	20.32	0.93	15.56	8.54	38.95	84.29	0.1
3	20.90	0.91	15.64	7.78	38.75	83.98	0.1
4	21.05	0.84	15.81	7.60	38.87	84.17	0.0
5	20.71	0.84	15.70	5.84	39.36	85.15	0.2
6	21.65	1.25	16.82	7.08	40.07	86.89	0.0
Ср.	20.75	0.93	15.96	7.42	39.10	84.60	0.1
Пересчет анализов на сумму атомов = 24							
1	(Mg <sub>4.84</sub> Fe <sub>0.08</sub> ) <sub>4.92</sub> [(Si <sub>3.30</sub> Al <sub>1.68</sub> ) <sub>5.08</sub> O <sub>14.24</sub> ]						
2	(Mg <sub>4.86</sub> Fe <sub>0.10</sub> ) <sub>4.96</sub> [(Si <sub>3.22</sub> Al <sub>1.84</sub> ) <sub>5.06</sub> O <sub>14.14</sub> ]						
3	(Mg <sub>5.00</sub> Fe <sub>0.10</sub> ) <sub>5.10</sub> [(Si <sub>3.24</sub> Al <sub>1.68</sub> ) <sub>4.92</sub> O <sub>14.08</sub> ]						
4	(Mg <sub>5.02</sub> Fe <sub>0.08</sub> ) <sub>5.10</sub> [(Si <sub>3.26</sub> Al <sub>1.64</sub> ) <sub>4.90</sub> O <sub>14.08</sub> ]						
5	(Mg <sub>4.88</sub> Fe <sub>0.08</sub> ) <sub>4.96</sub> [(Si <sub>3.20</sub> Al <sub>1.82</sub> ) <sub>5.02</sub> O <sub>14.12</sub> ]						
6	(Mg <sub>5.02</sub> Fe <sub>0.12</sub> ) <sub>5.14</sub> [(Si <sub>3.38</sub> Al <sub>1.48</sub> ) <sub>4.86</sub> O <sub>14.12</sub> ]						
Ср.	(Mg <sub>4.94</sub> Fe <sub>0.09</sub> ) <sub>5.03</sub> [(Si <sub>3.28</sub> Al <sub>1.69</sub> ) <sub>4.97</sub> O <sub>14.13</sub> ].						
Формула электронейтральная.							

Примечание. Недостаток суммы 15.40 % (для среднего состава) – вода. Расчет дает 4.3 H<sub>2</sub>O. С учетом воды формула: Mg<sub>5</sub>[(Si,Al)<sub>5</sub>O<sub>14</sub>]•4.3H<sub>2</sub>O. Δ, % – электронейтральность формулы. Аналитик А.А. Агаханов.

Следует отметить, что на Урале минералов группы мелилита до сих пор не встречали.

**Известь** CaO встречена в ассоциации с таумаситом, монтichelлитом, фазой А (рис. 2, 3). Минерал белого цвета, мелкозернистый. Размер зерен ~ 30 – 60 мкм. Состав минерала отвечает теоретической формуле CaO. Из четырех микрозондовых анализов, только в одном обнаружена незначительная примесь Mg (0.51 мас. %). В природе известь встречается редко. Известно 6 находок: 2 – на Урале – Гумешевское месторождение, Ср. Урал (Задов и др., 2005) и в горельях отвалах г. Копейска, Челябинская область, Ю. Урал (Чесноков, Щербакова, 1991); 2 – в штате Аризона, США (Graeme, 1981; Anthony *et al.*, 1995); 2 – в Италии, в известняках, заключенных в лавах Везувия (Ciriotte, Möckel, 2003; Russo, Punzo, 2004).

**Фаза А** обнаружена в виде желтых или желто-оранжевых зерен со стекляннм блеском в ассоциации с форстеритом, монтichelлитом, ферроакерманитом (рис. 4, 5). Химический состав фазы А достаточно постоянный (табл. 4). Эмпирическая формула (средняя из 6 анализов) (Mg<sub>4.94</sub>Fe<sub>0.09</sub>)<sub>5.03</sub>[(Si<sub>3.28</sub>Al<sub>1.69</sub>)<sub>4.97</sub>O<sub>14.13</sub>] электронейтральная. Сумма 84.60%, недостаток суммы 15.40%, скорее всего, вода. Расчет дает 4.3 молекулы воды. Формула, вероятно, (Mg<sub>4.94</sub>Fe<sub>0.09</sub>)<sub>5.03</sub>[(Si<sub>3.28</sub>Al<sub>1.69</sub>)<sub>4.97</sub>O<sub>14.13</sub>]•4.3H<sub>2</sub>O, или Mg<sub>10</sub>[(Si<sub>6.6</sub>Al<sub>3.4</sub>)<sub>10</sub>O<sub>28</sub>]•8.6H<sub>2</sub>O.

**Фаза X** установлен в ассоциации с ферроакерманитом, диопсидом, форстеритом, монтichelлитом (рис. 5, 6). Микрозондовый анализ (мас. %): Ca 38.78, P 12.97, V 0.30, Si 1.96, S 2.14, Cl 0.51, O 37.9, сумма 94.55. Эмпирическая формула (Ca<sub>1.98</sub>V<sub>0.02</sub>)<sub>2.00</sub>P<sub>0.86</sub>Si<sub>0.14</sub>S<sub>0.14</sub>Cl<sub>0.03</sub>O<sub>4.86</sub> при пересчете на Ca + P + V + Si = 3, или (Ca<sub>1.98</sub>V<sub>0.02</sub>)<sub>2.00</sub>[PO<sub>4</sub>]<sub>0.86</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sub>0.07</sub>[SO<sub>4</sub>]<sub>0.14</sub>Cl<sub>0.03</sub>. Для электронейтральности формулы необходимо учесть (OH), тогда формула будет (Ca<sub>1.98</sub>V<sub>0.02</sub>)<sub>2.00</sub>(OH)<sub>0.86</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>0.86</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)<sub>0.07</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>0.14</sub>Cl<sub>0.03</sub>.

К сожалению, ферроакерманит, фаза А и фаза X обнаружены только в тесных сростаниях друг с другом и с другими минералами, что затрудняет их дальнейшее изучение.

**Монтichelлит** в Шишимской копи впервые был обнаружен П.В. Еремеевым (Еремеев, 1899). В.А. Попов описал таблитчатые кристаллы монтichelлита длиной до 3 см (Попов, 2001). Монтichelлит находится в тесных сростаниях с таумаситом и известью (рис. 3), ферроакерманитом, фазой А, форстеритом (рис. 4), а также с ферроакерманитом, фазой X, форстеритом (рис. 6). По результатам микрозондового анализа видно, что состав монтichelлита постоянен. Эмпирическая формула (Ca<sub>1.00</sub>Mg<sub>0.94</sub>Fe<sub>0.06</sub>)<sub>2.00</sub>[Si<sub>1.00</sub>O<sub>4.00</sub>] (средняя из 10 анализов) соответствует теоретической формуле CaMg[SiO<sub>4</sub>].

**Диопсид** в скарне Шишимской копи представлен серовато-зеленоватыми мелкими удлиненными пластинками (рис. 6). Ассоциирует с форстеритом, монтichelлитом, ферроакерманитом. Химический состав отвечает теоретической формуле CaMg[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>], примеси не установлены.

## Выводы

1. При исследовании образцов из Шишимской копи обнаружен ферроакерманит Ca<sub>2</sub>Fe[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] – железистый аналог акерманита, ранее не встречавшийся в природе, но известный как синтетический продукт. Акерманит – минерал группы мелилита (Ca,Na)<sub>2</sub>(Al,Mg)[(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>], к которой относятся еще геленит Ca<sub>2</sub>Al[(Al,Si)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] и ферригеленит. Последний считается гипотетическим конечным членом мелилитовой группы. Вероятно, ферроакерманит еще один конечный член этой группы: ферроакерманит Ca<sub>2</sub>Fe<sup>2+</sup>[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] → акерманит Ca<sub>2</sub>Mg[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] → геленит Ca<sub>2</sub>Al[AlSiO<sub>7</sub>] → ферригеленит Ca<sub>2</sub>Fe<sup>3+</sup>[AlSiO<sub>7</sub>]. Кроме того, обнаружение ферроакерманита является первой находкой минерала группы мелилита на Урале.

2. Впервые в скарнах Шишимской копи установлены новые для нее минералы: таума-

сит, состав которого отвечает теоретической формуле  $\text{Ca}_3(\text{SO}_4)[\text{Si}(\text{OH})_6](\text{CO}_3) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , известность  $\text{CaO}$ , а также новые минеральные фазы, названные условно «фаза А» и «фаза Х», эмпирические формулы которых можно представить как  $\text{Mg}_{10}[(\text{Si}_{6.6}\text{Al}_{3.4})_{10}\text{O}_{28}] \cdot 8.6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ca}_{1.98}\text{V}_{0.02}\text{Cl}_{2.00}(\text{OH})_{0.86}(\text{PO}_4)_{0.86}(\text{Si}_2\text{O}_7)_{0.07}(\text{SO}_4)_{0.14}\text{Cl}_{0.03}$  соответственно.

## Литература

- Еврейнов П.О. Новый минерал лейхтенбергит // Горный журнал. **1842**. Т. IV. С. 236–242.
- Жабин А.Г. Таумасит из района Николае-Максимилиановской копи на Южном Урале // Тр. МГРИ. **1957**. Вып. 10. С. 134–141.
- Загов А.Е., Грабежев А.И., Чуканов Н.В., Прибавкин С.В., Жухлистов А.П., Сустанов С.Г. Пломбиерит, тоберморит, известь и другие минералы из скарнов Гумешевского месторождения (Ср. Урал) // Вестник Уральского отделения РМО. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. **2005**. С. 79–85.
- Минералы. М.: «Наука». **1972**. Т. 3. Вып. 1. 882 с.
- Мясников В.С. Минеральные копи Шишимских и Назямских гор // Минералогия Урала. Т. 1. М.-Л.: АН СССР. **1954**. С. 250–268.
- Попов В.А. Кристаллы монтичеллита из Шишимской копи на Южном Урале // Урал. геол. журн. **2001**. №5 (23). С. 140–143.
- Попов В.А. Апатит-монтичеллитовые карбонат-пегматиты Шишимской копи на Южном Урале // Минералогия Урала-2011 / Сб. науч. статей / Маг. VI Всер. совещ. Миасс: УрО РАН. **2011**. С. 82–85.
- Портнов А.М., Солнцев Б.П. О таумасите с Кольского полуострова // Новые данные о минералах СССР. Тр. Минерал. музея АН СССР. М.: Наука. **1971**. Вып. 20. С. 217–220.
- Рябов В.В., Столповская В.Н. Таумасит из Талнахского рудного узла (Северо-Запад Сибирской платформы) // Геология и геофизика. **1973**. №11. С. 111–115.
- Смирнов Г.И., Харьков А.Д. Таумасит в кимберлитах Якутии // Геология и геофизика. **1960**. №12. С. 116–118.
- Степанов В.И., Матросова Т.И., Быкова А.В. О генезисе таумасита из различных типов месторождений // Новые данные о минералах. **1981**. Вып. 29. С. 107–110.
- Чесноков Б.В., Щербакова Е.П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука. **1991**. 152 с.
- Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C. Handbook of Mineralogy. Tuscon, Arizona: Mineral Data Publishing. **1990**. V. II. P. 790.
- Anthony J.W., Williams S.A., Bideaux R.A., Grant R.W. Mineralogy of Arizona / 3<sup>rd</sup> edition. Tuscon, Arizona: University of Arizona Press. **1995**. 277 p.
- Barker D.S., Nixon P.H. High-Ca, low-alkali carbonatite volcanism at Fort Portal, Uganda // Contributions to Mineralogy and Petrology. **1989**. V. 103. P. 166–177.
- Bayliss P., Erd D.C., Mrose M.E., Sabina A.P., Smith D.K. Mineral Powder Diffraction File. Data Book. Swarthmore, USA: International Centre for Diffraction Data. **1986**. P. 1169.
- Foitt F.F.Jr, Hooper R.L., Rosenberg P.E. An unusual pyroxene, melillite, and iron oxide mineral assemblage in a coal-fire buchite from Buffalo, Wyoming // Am. Mineral. **1987**. V. 72. No. 1, 2. P. 137–147.
- Gatta G.D., Mcintyre G.J., Swanson J.G., Jacobsen S.D. Minerals in cement chemistry: A single-crystal neutron diffraction and Raman spectroscopic study of thaumasite  $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  // Am. Mineral. **2012**. V. 97. No. 12. P. 1060–1069.
- Graeme R.W. Famous mineral localities: Bisbee, Arizona // Mineral. Rec. **1981**. V. 12. No 5. P. 258–319.
- Gross S. The mineralogy of the Hatrurim Formation, Israel // Geol. Sur. Israel. Bull. **1977**. V. 70. P. 37–38.
- Grubessi O., Mottana A., Paris E. Thaumasite from the Tschwinning [N'Chwaning] mine, South Africa // Tscherma's mineralogische und petrographische Mitteilungen. **1986**. V. 35. No. 3. P. 149–156.
- Jacobsen S.D., Smyth J.R., Swope R.J. Thermal expansion of hydrated six-coordinate silicon in thaumasite,  $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  // Physics and Chemistry of Minerals. **2003**. V. 30. P. 321–329.
- Knill D.C., Young B.R. Thaumasite from Co. Down, Northern Ireland // Mineral. Mag. **1960**. V. 32. No. 248. P. 416–418.
- Neuvonen K.J. Thermochemical investigation of the äkermanite-gehlenite series // Bull. Comm. geol. Finlande. **1952**. V. 26. No. 158. P. 5–50.
- Russo M., Punzo I. I Minerali del Somma-Vesuvio. Cremona: AMI (Italiana Micromineralogical Association). **2004**. 320 p. (на ит. яз.).
- Schöps D., Herzig P.M. Thaumasite in Lau basin basaltic andezite, hole 841B // Proceeding of the Ocean Drilling Program. Scientific Results / Ed. Hawkins J., Parson L., Allan J. et al. **1994**. V. 135. P. 647–651.