

УДК 553.22+553.43(470.5)

**ТИЛЛЕИТ И ВАЛЛЕРИИТ ИЗ ГУМШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
(СРЕДНИЙ УРАЛ)**

*А.И. Грабежев, В.В. Мурзин, С.В. Прибавкин, Н.С. Бородина,  
В.Г. Гмыра, Г.В. Пальгуева*

*Институт геологии и геохимии УрО РАН*

В данной статье рассматриваются минералы нижней части (инт. 533,2-534,5 м) зоны гидроксилэлластадитового метасоматита, встреченного в интервале 530,4-534,5 м скв. 3871 на Гумшевском месторождении (см. предыдущую статью авторов в настоящем сборнике). Метасоматит отличается от выше охарактеризованного наличием значительного количества неравномерно распределенных зерен андрадита и везувиана, содержание которых в отдельных участках достигает 30-60 об.%. В шлифах андрадит имеет бледно-желтую окраску, а везувиан – обычное аномальное двупреломление. Содержание гидроксилэлластадита редко превышает 30 об.%, обычно он образует неправильные зерна и не обнаруживает генетических взаимоотношений с андрадитом и везувианом. Вместе с тем, в гидроксилэлластадите часто наблюдаются очень мелкие, как правило, округлые, выделения андрадита, которые при желании можно рассматривать как реликтовые зерна. Микронзондовые анализы андрадита и везувиана соответственно отвечают (в мас.%):  $\text{SiO}_2$  – 36,02 и 36,13;  $\text{TiO}_2$  – 0,03 и 0,02;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 3,64 и 15,33;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 26,81 и 5,24;  $\text{MgO}$  – 0,11 и 2,95;  $\text{CaO}$  – 33,17 и 36,33; сумма – 99,78 и 96,01.

Все вышеуказанные минералы интенсивно замещаются карбонатом (преимущественно кальцитом). Очень широко распространена неравномерная вкрапленность сульфидов (до 7 об.%). В данном интервале совершенно отсутствуют гипсовые прожилки, характерные для верхней части зоны метасоматитов.

Тиллеит слагает секущие белые параллельные быстро выклинивающиеся метасоматические прожилки мощностью 0,02-1,5 мм. Под микроскопом эти прожилки выглядят как зоны расщепления, представленные ориентированным по простиранию агрегатом тонкопластинчатых зерен минерала с высоким двупреломлением (0,035) и показателем преломления (на уровне 1,600-1,650). Минерал имеет прямое погасание и отрицательное удлинение. В слабом растворе соляной кислоты минерал быстро разлагается с выделением  $\text{CO}_2$  и сохранением кремнистого каркаса. По вышеприведенным

Таблица 1

## Микрозондовые анализы тиллеита, мас.%

№	Тиллеит			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	24.89	24.33	24.61	24.09
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.02	0.00	0.61
FeO	0.13	0.13	0.13	0.11
MgO	0.00	0.00	0.00	0.43
CaO	54.98	56.57	55.78	57.75
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	-
K <sub>2</sub> O	0.01	0.03	0.02	-
SO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	-
CO <sub>2</sub>	-	-	-	15.82
H <sub>2</sub> O	-	-	-	1.09
Сумма	80.02	81.09	80.55	99.90
Si	2.08	2.00	2.04	1.92
Ca	4.91	5.00	4.96	4.96
Fe	0.01	0.01	0.01	0.01

*Примечание:* 1-3 – тиллеит из микропрожилков в гидроксилэлластадитовом метасоматите (образец 3871-534), соответственно два частных анализа и среднее по ним; 4 – тиллеит из Крестморе, США. Пустая клетка – элемент не определялся. Кристаллохимическая формула рассчитана на 7 катионов. В кристаллохимической формуле анализа 4 присутствуют: Al – 0,06, Mg – 0,05.

данным и микрозондовым анализам минерал диагностируется как тиллеит (табл. 1), имеющий теоретическую формулу  $Ca_5[Si_2O_7](CO_3)_2$ . Суммы анализов составляют примерно 80 мас.%, недостающая часть должна быть представлена углекислотой. Некоторые вариации содержания кальция и кремния в анализах могут быть связаны с аналитическими погрешностями в связи с тонкозернистой структурой агрегата минерала. На дифрактограммах присутствуют слабые рефлексы 3,10 и 1,90 Å, свойственные тиллеиту. Данный минерал заслуживает дальнейшего изучения.

В рассматриваемом метасоматите халькопирит является преобладающим сульфидом, выполняющим межзерновые пространства среди агрегатов нерудных минералов. Минерал имеет стехиометрический состав по основным компонентам. Концентрации в нем наиболее обычных примесей Ni и Co находятся на уровне ниже чувствительности микроанализа (0,02-0,03 мас.%). В сростках с халькопиритом встречены мелкие единичные выделения (менее 0,15 мм) борнита, который характеризуется несколько пониженным содержанием меди и повышенным – железа и серы по отношению

к стехиометрии минерала (табл. 2). Состав борнита отвечает метастабильному борнит-халькопиритовому твердому раствору. Так как пирит и пирротин в метасоматите не встречены, то можно полагать, что сульфиды образуются в поле борнит-халькопиритовой фации, отражающей условия низких значений фугитивности серы.

Таблица 2

**Химический состав минералов меди, никеля и кобальта из гидроксиллестадитового метасоматита Гумешевского месторождения (обр. ГУ-3871-534)**

№	Cu	Fe	Ni	Co	Al	Mg	Cr	S	Сумма
Борнит	58.44	12.14	0.00	0.0	-	-	-	27.58	98.16
Борнит	58.66	11.96	0.00	0.0	-	-	-	26.81	97.44
Зигенит	0.04	0.22	32.45	26.83	-	-	-	41.90	101.44
Зигенит	0.04	0.34	32.49	26.98	-	-	-	41.71	101.56
Зигенит	0.02	0.13	32.43	26.15	-	-	-	41.73	100.46
Валлериит	24.90	16.95	0.00	0.00	4.04	12.18	0.10	23.18	81.35
Валлериит	25.28	16.93	0.00	0.00	3.77	12.42	0.03	23.43	81.86
Валлериит	25.56	17.74	0.00	0.00	3.92	12.61	0.00	23.16	82.99

*Примечание.* Рентгеноспектральный микроанализ минералов выполнен в ИГиГ УрО РАН на микроанализаторе JXA-5; анализы даны в мас.%. Прочерк – элемент не измерялся, 0,00 – содержание элемента ниже чувствительности микроанализа (0,02-0,03%). Кислород и водород в валлериите не измерялись. Пересчет концентраций в этом минерале проведен путем введения O и H в количествах и пропорциях, дополняющих сумму измеренных компонентов до 100%.

В одном парагенезисе с халькопиритом присутствуют редкие кристаллы Ni-Co сульфида и ксеноморфные выделения сфалерита, заключенные в халькопирите или находящиеся на контакте последнего с нерудной массой. Размер выделений этих минералов достигает 0,2 мм, однако чаще менее 0,1 мм. Оптические свойства (розоватый, изотропный) и соотношение металлов и серы в Ni-Co сульфиде (табл. 2) отвечают зигениту, имеющему структуру обращенной шпинели  $Ni^{3+}(Ni^{2+}Co^{3+})S_4$ . Особенностью химического состава исследованного зигенита является избыточное, по отношению к стехиометрическому составу, содержание кобальта (до 7,5 мас.%). По-видимому, имеет место замещение части  $Ni^{2+}$  или  $Ni^{3+}$  на кобальт, как это наблюдается у чисто никелевого сульфида со сходной структурой – полидимита –  $NiNi_2S_4$  [6]. Химический состав сфалерита характеризуется значительным набором примесных компонентов, что

позволяет отнести его к марганцовисто-кадмистой разновидности (табл. 3). Выделения его при разрешении оптического микроскопа свободны от вкрапленности халькопирита, однако факт согласованных вариаций концентраций Cu и Fe в зернах сфалерита не позволяет однозначно трактовать эти примеси как изоморфные. В качестве, несомненно, изоморфных примесей в сфалерите выступают марганец и кадмий. Отметим, что совместное присутствие этих элементов в значительных количествах наблюдается в сфалерите редко.

Таблица 3

**Химический состав сфалерита из гидроксилэллестадитового метасоматита  
Гумешевского месторождения (обр. ГУ-3871-534), мас.%**

№	Zn	Cu	Fe	Cd	Mn	Hg	S	Сумма
1	57.70	0.60	0.85	3.76	3.56	0.00	32.58	99.05
2	57.37	1.16	1.49	3.64	2.94	0.00	32.22	98.82
3	59.20	0.13	0.19	3.50	3.79	0.00	32.18	99.00

*Примечание.* Рентгеноспектральный микроанализ минералов выполнен в ИГиГ УрО РАН на микроанализаторе JXA-5.

Наиболее поздними минералами изученного метасоматита являются карбонат (магнезиальный кальцит?) и валлериит (см. табл. 2), которые секут в виде микропрожилков более ранние минералы. Выделения валлериита размером до 0,2 мм имеют таблитчатую, клиновидную форму и заключены в карбонате, очень часто на контактах карбоната с халькопиритом или изредка в виде включений в последнем. Минерал обладает очень сильным двуотражением и анизотропией в синевато-коричневых тонах. Такие аномальные оптические свойства валлериита обязаны его гибридной структуре, в которой в пределах одного кристалла существуют пронизывающие друг друга гексагональные сульфидная и бруситовая подрешетки. Из-за несоответствия ионов серы и гидроксила в кристаллохимической формуле минерала при бруситовом компоненте появляется дробный коэффициент, который можно уточнить при помощи электронной микродифракции [6]. Судя по измеренному химическому составу минерала, в составе бруситового компонента присутствует значительное количество гидроксида алюминия  $Al(OH)_3$ . Наличие валлериита подтверждается присущими ему рефлексами на дифрактограмме (11,3; 5,68; 3,78; 3,23 Å). При насыщении ориентированного образца метасоматита этиленгликолем и отжиге до 550°C данные рефлексы, соответствующие бруситовым слоям в минерале, исчезают. Ранее валлериит по оптическим данным

неоднократно отмечался в рудах колчеданных месторождений Урала. Химический анализ нам известен только для валлериита из родингитов Баженовского месторождения [5]. По сравнению с последним, рассматриваемый валлериит характеризуется гораздо меньшим значением Fe/Mg отношения и содержанием алюминия.

Изложенные данные свидетельствуют, скорее всего, о метасоматическом развитии гидроксилэллестадиита по везувиан-гранатовому скарну. О температурном режиме этого процесса судить трудно, можно только отметить, что скарны на Гумешевском месторождении формируются преимущественно при температуре 350-500°C [1, 2]. Соответственно можно предположить, что гидроксилэллестадиит и секущие метасоматит тиллеитовые прожилки сформировались при меньших температурах, чем это наблюдается в известных высокотемпературных известковых и магнезиальных скарнах [3, 4 и др.]. Сульфидное оруденение и карбонатизация безусловно являются наиболее поздними процессами, завершающимися замещением халькопирита валлериитом.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект 03-05-64206).*

### Литература

1. *Грабежьев А.И.* Скарны Гумешевского скарново-медно-порфирового месторождения // Петрология. 2004. № 2. (в печати).
2. *Грабежьев А.И., Сотников В.И., Боровиков А.А., Азовскова О.Б.* Генетическая типизация Гумешевского медно-скарнового месторождения (Средний Урал) // Доклады РАН. 2001. Т. 380. № 2. С. 242-244.
3. *Перцев Н. Н., Конников Э.Г., Кислов Е.В. и др.* Магнезиальные скарны мервинитовой фации из ксенолитов в дунитах Довыренского расслоенного массива // Петрология. 2003. № 5. С. 512-523.
4. *Ревердатто В.В.* Фации контактового метаморфизма. М.: Недра. 1970. 271 с.
5. *Спиридонов Э.М., Барсукова Н.С.* Рудные минералы – халькогениды метаморфитов Баженовского месторождения // Минералогия родингитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста. Екатеринбург: Изд-во УГГГА. 1996. С. 62-81.
6. *Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др.* Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.