

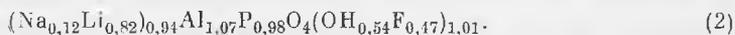
Б. Е. БОРУЦКИЙ

ГЕБРОНИТ ИЗ НАТРО-ЛИТИЕВЫХ ПЕГМАТИТОВ СИБИРИ

Редкометалльные пегматиты натро-литиевого типа (по А. Е. Ферсману), развитые в одном из районов Сибири, представлены жилами, согласно залегающими в биотитовых сланцах и амфиболитах протерозоя. Мощность жил редко превышает 1 м. Пегматиты настолько интенсивно переработаны поздними растворами с образованием кварц-слюдяного, кварц-сподуменового и особенно широко развитых альбитовых метасоматических замещающих комплексов, что только в наиболее мощных телах сохранились реликты блоковых выделений кварца и микроклина. Аплитовая, апографическая и графическая зоны отсутствуют (Гинзбург, Яковлева, 1961; Яковлева и др., 1965).

Минералы группы амблигонит-монтебразита в виде крупных (до 10—30 см в поперечнике) образований неправильной формы (рис. 1) белого или чуть желтоватого цвета, с жирным блеском, хорошо выраженной спайностью в трех направлениях под острыми углами и характерной шероховатой бурой пленкой на выветрелой поверхности встречаются в блоковом кварце и в кварц-слюдяном замещающем комплексе в парагенезисе с топазом и молочно-белым бериллом. Время их образования относится к концу кристаллизации блокового кварца или началу формирования кварц-слюдяного замещающего комплекса, так как и амблигонит-монтебразит, и ассоциирующиеся с ним минералы секутся прожилками кварц-сподуменового агрегата, разъедаются белым и голубым альбитом и замещаются поздней слюдкой. Последняя развивается также в блоковом кварце по контакту зерен амблигонит-монтебразита и берилла (Яковлева, 1962). В поздние стадии развития пегматитовых тел благодаря интенсивно проявленной тектонике выделения амблигонит-монтебразита подвергаются дроблению, растаскиванию, растворению и частичной перекристаллизации. Поэтому отдельные реликтовые зерна его величиной от 2—5 см до микроскопических размеров присутствуют в различного типа альбитовых прожилках и среди позднего лепидолитоподобного мелкочешуйчатого фиолетового мусковита. Как правило, они вытянуты по протяжению прожилков и проникают по трещинам в сохранившиеся на их пути блоки кварца (рис. 2).

Химические анализы минерала группы амблигонит-монтебразита из блокового кварца (см. таблицу, анализы 1 и 2), рассчитанные из известного числа ионов в структурной ячейке минерала (Na, Li, Al, P, OH и F = 4), приводят к следующим формулам:



**Химические анализы гебронита и желтого опаловидного вещества из каемок
вокруг реликтов гебронита в альбите**

Окислы	Гебронит				Опаловидное вещество каемки				
	1		2		3		Расчет на предполагаемые минералы		
	вес. %	атомное количество	вес. %	атомное количество	вес. %	атомное количество	Г-апатит	натромонттебразит	остаток
P ₂ O ₅	46,59	656	46,06	648	38,73	546	470	75	—
SiO ₂	0,18	3	—	—	7,38	123	—	—	246
Al ₂ O ₃	36,13	709	36,50	716	6,22	122	—	75	47
Fe ₂ O ₃	0,01	000	—	—	0,06	1	—	—	1
CaO	0,00	000	—	—	43,98	784	784	—	—
MnO	—	—	—	—	0,03	000	—	—	—
Na ₂ O	2,31	75	2,50	80	1,18	38	—	30	8
K ₂ O	—	—	0,1	2	—	—	—	—	—
Li ₂ O	8,43	564	8,26	552	0,68	46	—	46	—
H ₂ O	2,96	329	3,28	364	1,77	197	—	73	124
F	6,32	(OH) 332	6,00	(OH) 315	3,02	(OH) 159	157	2	—
Сумма	102,93		102,70		103,05				
—O=F ₂	—2,72		—2,52		—1,27				
Сумма	100,21		100,18		101,78				
Аналитик	Б. Е. Борудский *		Г. А. Осолодкина **		Б. Е. Борудский *				
Уд. вес.	3,05		3,06		3,14				
Эквивалентное количество кислорода							1882	301	384
Суммарное атомное количество							3293	602	687
Состав							72%	13%	15%

Анализы выполнены: * в химической лаборатории на кафедре минералогии Геологического факультета МГУ, ** в химической лаборатории Минералогического музея.

Небольшие количества кремнезема и окиси железа, найденные в первом анализе, при этом в расчет не принимались и отнесены за счет примеси в образце ожелезненного кварца. Почти равное соотношение OH и F в анализах показывает, что наш минерал — идеальный пример промежуточного члена в ряду амблигонит—монтебразит. Такую разность принято называть гебронитом (Устиев, 1943). Удельный вес минерала 3,05—3,06. В шлифах гебронит бесцветный, прозрачный, с хорошо проявленной спайностью по *a*(100) в установке Пэлача, Ричмонда и Вольфа (Palache a. o., 1943). Очень характерны тонкие полисинтетические двойники, иногда по двум взаимно перпендикулярным направлениям *ct* (111) и *r*(111) в качестве плоскостей двойникового срастания (рис. 3).

Ориентировка осей оптической индикатрисы (с точностью построенной на сетке Вульфа $\pm 2^\circ$): *Np* $\varphi = 19^\circ$, $\rho = 69^\circ$; *Nm* $\varphi = -80^\circ$, $\rho = 70^\circ$; *Ng* $\varphi = 151^\circ$, $\rho = 32^\circ$. В установке Делоне, стандартной, с тремя тупыми углами, принятой для триклинных кристаллов, формула перехода к которой от установки Пэлача, Ричмонда и Вольфа $001|100|-110$ (Симонов, Белов, 1958), *a* (100) соответствует (011) , *t* (111) — $(1\bar{1}0)$, *r*(111) —

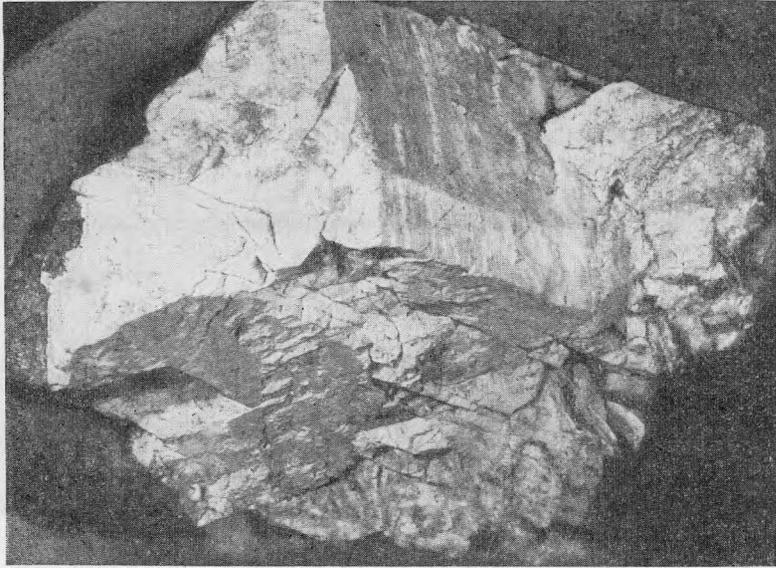


Рис. 1. Крупные выделения габронита в блоковом кварце
Уменьш. 3



Рис. 2. Реликты габронита с черными опаловидными каемками
в трещинке, секущей блоковый кварц
Натур. вел.



Рис. 3. Полисинтетическое двойникование гебронита. Видны две взаимно перпендикулярные системы двойников

Увел. 30, николи+

(110), ориентировка осей оптической индикатрисы: $Np \varphi = 39^\circ$, $\rho = 57^\circ$; $Nm \varphi = 147^\circ$, $\rho = 67^\circ$; $Ng \varphi = -96^\circ$, $\rho = 42^\circ$; $cNp = 56^\circ$, $bNm = 17^\circ$, $aNg = 33^\circ$.

Обращает на себя внимание колебание показателей преломления и угла оптических осей в образцах из различных комплексов. В геброните из блокового кварца (анализированный материал): $Np = 1,593$, $Nm = 1,607$, $Ng = 1,614$ (иммерсионным методом для $\lambda = 589 \text{ м}\mu$ с точностью $\pm 0,002$), $2V$ от -61 до -70° (коноскопированием на столике Федорова, $\pm 1^\circ$), $2V$ вычисленное -67° . В образце из кварц-слюдяного замещающего комплекса: $Np = 1,599$, $Nm = 1,615$, $Ng = 1,623$, $2V$ от -61 до $+84^\circ$. В образцах из альбитовых прожилков показатели преломления и угол оптических осей часто возрастают от центра зерна к периферии. Так, в отпрепарированном из шлифа зерне для центральной, несдвоенной его части измерены $2V = -73^\circ$, $Np = 1,604$, $Nm = 1,613$, $Ng = 1,617$ (с учетом поправки на наклон оптической индикатрисы по отношению к измеренному сечению), в то время как в периферической, полисинтетически сдвоенной его части $2V = -82^\circ$, $Np = 1,605$, $Nm = 1,618$, $Ng = 1,627$. Колебание оптических констант свидетельствует в первую очередь об изменении соотношения ОН и F и сдвиге состава минерала из более поздних комплексов в сторону монтебразита.

Порошкограмма анализированного гебронита тождественна порошкограммам, опубликованным в литературе.

Дифференциально-термическая кривая нагревания гебронита (рис. 4), выполненная в термической лаборатории ИГЕМ АН СССР, обнаруживает два резких эндотермических эффекта при $630-670$ и $770-830^\circ$. Потеря веса при этом составляет $4,5\%$, т. е. при нагревании до $850-900^\circ$ минерал теряет не только воду, но и часть фтора (согласно Дена, в виде HF). Образующийся порошок состоит из частиц гебронита, сцементированных новообразованным слабоанизотропным минералом с $N \approx 1,529$. Порошкограмма после прокаливании аналогична порошкограмме непрокаленного

гебронита, отличается только незначительным смещением некоторых линий и изменением их интенсивности.

Состав и константы нашего минерала хорошо согласуются с данными Нелла (Nel, 1946), приводимыми для амблигонита сходного состава из месторождения Кариб в Юго-Западной Африке.

Образование в описываемых жилах гебронита вместо более обычного для литиевых пегматитов монтебразита и ассоциация его с такими минералами, как тоназ и лепидолит, свидетельствуют о высокой концентрации фтора на ранних стадиях формирования пегматитов.

Реликты гебронита в альбитовых прожилках подвержены значительному физическому и химическому изменению. Периферические части кристаллов часто раздроблены и превращены в мелкозернистый агрегат различно ориентированных сдвойникованных зерен. В некоторых случаях наблюдается замещение гебронита единой системой одинаково ориентированных зерен, не имеющих полисинтетического двойникования.

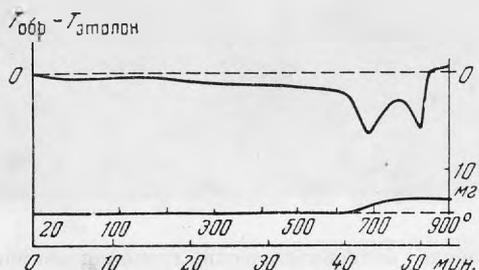


Рис. 4. Дифференциально-термическая кривая нагревания гебронита

Навеска 97,8 мг, потеря 4,4 мг (4,5%)

На контакте этих новообразований с реликтовым гебронитом всегда возникает узкая осветленная каемка, к которой приурочены мелкие обособления кварца (рис. 5). Судя по возрастанию показателей преломления и большому углу оптических осей (часто положительному), можно предположить, что гебронит замещается монтебразитом или натро-монтебразитом (фремонитом). В прожилках с поздним фиолетовым лепидолитоподобным мусковитом наблюдаются уже только очень мелкие, размером до нескольких миллиметров, реликтовые зерна гебронита, обрастаемые мелкими листочками мусковита, среди которого, кроме того, обычно присутствуют кристаллики манган-апатита. Валовые химические анализы вещества реликтов гебронита из альбитовых прожилков и из прожилков с поздним фиолетовым мусковитом показывают соответственно следующие соотношения элементов (аналитик Б. Е. Борудский):

P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Li ₂ O	H ₂ O	F	Сумма	-O=F ₂	Сумма
45,66	4,63	35,70	1,68	6,38	2,38	2,91	99,34	-1,23	98,11
50,93	5,16	31,44	0,66	7,71	2,16	3,24	101,30	-1,36	99,94

Кальций не обнаружен. Эти анализы на формулы минералов амблигонит-монтебразитового ряда не рассчитываются из-за значительного дефицита щелочей и фтора и избытка алюминия и фосфора, а в шлифах при большом увеличении видно, что анализируемый материал представляет собой смесь гебронита с продуктами его изменения, распределяющимися внутри кристаллов в виде неправильной сеточки очень мелких включений. От гебронита они отличаются более высоким светопреломлением $Np' = 1,619$, $Ng' = 1,622$ и низким двупреломлением. Удельный вес смеси падает до 3,00—3,01.

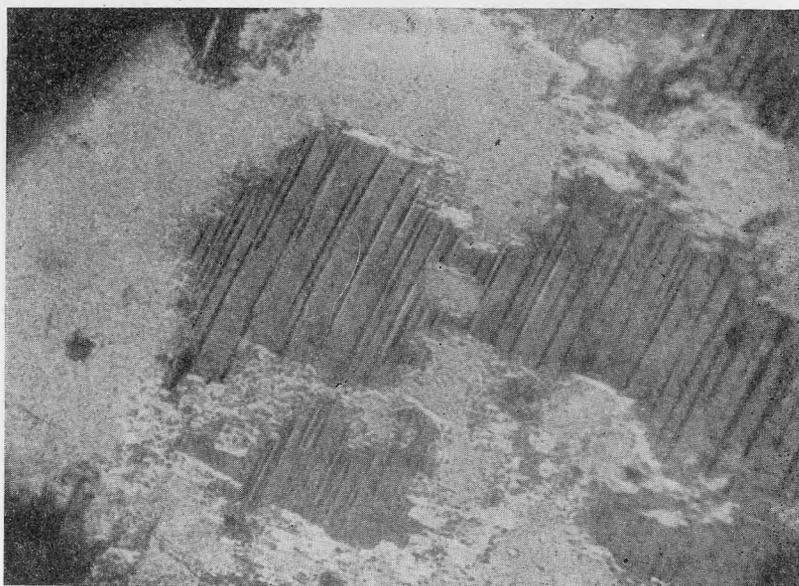


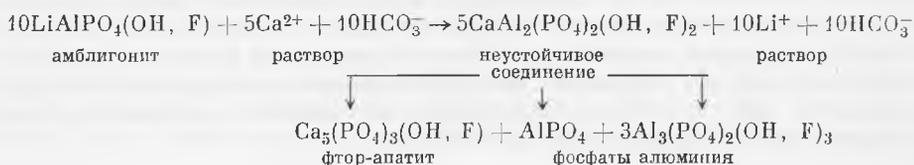
Рис. 5. Замещение полисинтетически сдвойникового гебронита (темное) монтебразитом (светлое)

Увел. 30, николи+

Наиболее сильное изменение гебронита наблюдается в альбитовых прожилках, где вокруг его реликтов постоянно присутствуют желтоватые полупрозрачные или темноокрашенные, почти черные, каемки опаловидного вещества, проникающего также внутрь зерен по системе тончайших прожилков. Оптические константы желтого полупрозрачного вещества (одноосный, оптически отрицательный $N_o = 1,637$, $N_e = 1,635$, $N_o - N_e = 0,002$) и порошковая диаграмма, характеризующаяся появлением на фоне линий минерала амблигонит-монтебразитового ряда следующих новых наиболее сильных линий: 3,44 (интенсивность 6), 2,80 (10), 2,70 (9), 2,61 (7), 2,25 (7), 2,14 (6), 1,937 (9), 1,886 (6), 1,838 (9), 1,232 (8), 1,215 (8) и 1,098 (10) позволяют диагностировать его как фтор-апатит.

Химический анализ желтоватой опаловидной разности (см. таблицу, анализ 3) рассчитывается на предполагаемые минералы в следующих соотношениях (в ат. %): фтор-апатита 72, реликтового монтебразита или натро-монтебразита 13, кремнезема 8, альбита 2, молекулярной воды 4. При таком расчете, однако, еще остается несвязанным приблизительно 4 вес. % Al_2O_3 . Возможно, что в опаловидных каемках и в реликтах гебронита, кроме апатита, возникают еще какие-то фосфаты алюминия.

А. И. Гинзбург (1950) для такого рода замещения предполагает следующую реакцию между минералом группы амблигонит-монтебразит и кальций-карбонатными растворами:



Но, как показывает расчет анализа, содержание предполагаемых фосфатов алюминия, по-видимому, мало для того, чтобы их присутствие могло быть обнаружено рентгеновскими методами, или они присутствуют в виде тонкодисперсных «рентгеноаморфных» соединений. Вещество черной опаловидной каемки не удалось проанализировать. Судя по порошковой диаграмме, это также фтор-апатит. Причина интенсивной его окраски осталась невыясненной.

Таким образом, в ходе наложенных процессов в поздние стадии формирования пегматитовых тел литий и фтор выносились из гебронита, а алюминий и фосфор концентрировались в продуктах его изменения и замещения. Вначале это приводило к замещению гебронита монтебразитом или натро-монтебразитом, а затем к полному выносу лития и связыванию фосфора (с кальцием, принесенным растворами) во фтор-апатит опаловидных каемок или в манган-апатит, а алюминия, вероятно, в какие-то фосфаты алюминия.

Настоящая работа выполнена на кафедре минералогии геологического факультета МГУ. Автор благодарит своих руководителей Г. П. Барсанова, А. И. Гинзбурга и М. Е. Яковлеву.

ЛИТЕРАТУРА

- Гинзбург А. И. Монтебразит и процессы его изменения. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 2, 1950.
- Гинзбург А. И. Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 7, 1955.
- Гинзбург А. И., Яковлева М. Е. О некоторых явлениях переотложения сподумена в пегматитах. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 11, 1961.
- Дена Дж. Д., Дена Э. С., Пелач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. Амблигонит. Монтебразит. Натро-монтебразит, т. 2, полутом 2. ИЛ, 1954.
- Симонов В. И., Белов И. В. Определение структуры амблигонита методом минимализации. — Кристаллография, 1958, 3, вып. 4.
- Устиев О. К. Гебронит — минерал группы амблигонита с р. Яны. — ЗВМО, 1943, ч. 74.
- Яковлева М. Е. Процессы изменения берилла. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 12, 1962.
- Яковлева М. Е., Разманова З. П., Смирнова М. А. Лепидолит с малым углом оптических осей. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 16, 1965.
- Nel H. J. Petalite and amblygonite from Karibib South West Africa. — Amer. Mineralogist., 1946, 31, N 1—2, 51—57.
- Palache C., Richmond W. E., Wolfe C. W. On amblygonite. — Amer. Mineralogist., 1943, 28, 39.