

Е. В. СВЕШНИКОВА, Е. И. ЛОМЕЙКО, З. П. ЕРШОВА,  
А. М. УСЕНКО

### ФТОРСОДЕРЖАЩИЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ АРФВЕДСОНИТЫ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Щелочные амфиболы часто являются породообразующими минералами щелочных пород магматического и метасоматического генезиса. Арфведсониты широко распространены в щелочных интрузивных породах Ловозера, в щелочных пегматитах Ловозера и Хибин. В нефелиновых сиенитах одного из массивов Заангарья (Енисейский кряж) щелочных амфиболов нет, но они присутствуют здесь в метасоматических образованиях по нефелиновым сиенитам и вмещающим известнякам, а также в щелочных пегматитах, сопровождающих массив.

Арфведсонит в виде тонких каемок и мелкозернистого агрегата замещает эгирин нефелиновых сиенитов в стадию калиевого метасоматоза, когда интенсивно развивается микроклин. При натриевом метасоматозе нефелиновых сиенитов арфведсонита мало, но в ту же стадию при щелочном метасоматозе известняков (вдоль зон разломов) образуется мелкозернистая альбит-арфведсонитовая порода. В щелочных пегматитах, жилы которых секут нефелин-сиенитовую интрузию, арфведсонит не распространен; зато в жилах щелочных пегматитов, залегающих в известняках вблизи интрузии, арфведсонит — обычный породообразующий минерал наряду с микроклином и альбитом.

Для исследований вещественного состава удалось выделить в достаточных количествах два минерала: арфведсонит из альбит-арфведсонитовых метасоматических пород и арфведсонит из щелочных пегматитов.

Щелочной амфибол пегматитов образует в жилах таблитчатые довольно идиоморфные кристаллы длиной 1—20 мм или ксеноморфные зерна, рассеянные в сростках микроклина. Небольшие скопления арфведсонита обычно располагаются в периферических частях пегматитовых жил. Минерал черного цвета со стекляннм блеском, твердость около 6, спайность по призме, удельный вес 3,185. Микроскопически устанавливается весьма густая окраска с резким плеохроизмом от фиолетово-синего до буровато-желтого ( $Nm > Np > Ng$ ). Удлинение минерала отрицательное, угол  $2V$  большой ( $85-90^\circ$ ), угол погасания с  $Np$  около  $10^\circ$ . Характерна сильная дисперсия осей:  $r > v$ ,  $Ng = 1,691$ ,  $Np = 1,675 (\pm 0,003)$ .

Арфведсонит альбит-арфведсонитовых пород образует мелкие шестоватые до волокнистых более или менее идиоморфные кристаллики длиной 0,2—2 мм и в поперечнике 0,01—0,1 мм. Макроскопически минерал черный с сильным стекляннм блеском, твердость 6, сколы неровные, удель-

ный вес 3,216. В шлифе заметен резкий плеохроизм от голубовато-зеленого до желто-бурого цвета; схема абсорбции  $Np = Nm > Ng$ ; удлинение отрицательное;  $2V = 90^\circ$ ,  $cNp = 20-23^\circ$ ,  $Ng = 1,685$ ,  $Np = 1,672 (\pm 0,003)$ .

Структурное исследование арфведсонитов, проведенное Г. А. Сидоренко, подтвердило их принадлежность к структурному типу режикита, т. е. магнезиального арфведсонита (Гинзбург и др., 1961). В табл. 1 приведены расчеты дебаеграмм и параметров ячеек, показывающие близость структур этих двух минералов.

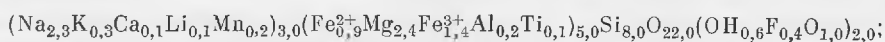
Таблица 1

Значения межплоскостных расстояний магнезиальных арфведсонитов

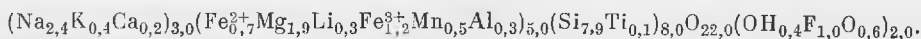
Из щелочных пегматитов		Из альбит-арфведсонитовой породы		Из щелочных пегматитов		Из альбит-арфведсонитовой породы	
<i>I</i>	<i>d</i> : <i>n</i>	<i>I</i>	<i>d</i> : <i>n</i>	<i>I</i>	<i>d</i> : <i>n</i>	<i>I</i>	<i>d</i> : <i>n</i>
7	8,17	6	8,17	2	1,607	1	1,607
2	4,89	1	5,02	5	1,578	5	1,583
5	4,43	5	4,43	—	—	1	1,533
1	3,596	—	—	5	1,507	4	1,515
6	3,365	5	3,385	—	—	2	1,498
2	3,27	2	3,25	6	1,437	8	1,442
8	3,13	7	3,13	4	1,377	5	1,384
4	2,97	3	2,97	3	1,344	2	1,344
2	2,787	3	2,814	3	1,312	6	1,318
10	2,70	10	2,698	6	1,285	8	1,293
2	2,58	3	2,58	2	1,264	3	1,270
3	2,53	4	2,53	1	1,211	—	—
—	—	1	2,38	5	1,195	7	1,197
3	2,31	3	2,32	1	1,153	1	1,166
2	2,27	2	2,29	1	1,117	2	1,128
5	2,16	5	2,16	1	1,109	1	1,106
2	2,06	1	2,06	1	1,085	1	1,080
2	2,06	2	2,02	4	1,057	5	1,058
—	—	2	1,952	—	—	5	1,049
1	1,867	1	1,877	4	1,023	5	1,023
1	1,795	1	1,800	2	1,017	2	1,017
—	—	1	1,747	—	—	1	1,006
1	1,682	1	1,690	1	0,9966	1	0,9993
5	1,653	6	1,661	1	0,9886	—	—
1	1,637	1	1,645	—	—	—	—

Химический анализ арфведсонитов (табл. 2) показал, что они относятся к магнезиальной разновидности. Общая железистость  $f = 65-66$ . Амфиболы обогащены фтором, особенно высокое содержание его (2,32%) в минерале из метасоматической породы. Отмечено также довольно значительное содержание окиси марганца (1,31—3,75%), заметное количество лития и других редких щелочей; присутствуют примеси других элементов<sup>1</sup>. Расчет химических анализов привел к следующим формулам:

минерал из щелочного пегматита



минерал из альбит-арфведсонитовой породы



<sup>1</sup> По данным полуколичественного спектрального анализа (лаборатория ИГЕМ АН СССР), в арфведсоните из щелочного пегматита имеются примеси Zr (0,01%), Nb (0,01%), Y (0,03%), Pb (0,05%), Sn (0,01%), Zn (0,05%), Be (0,005%), Ga (0,001%), а во втором минерале — Nb (0,01%), Ba (0,01%), Pb (0,05%), Sn (0,01%), Be (0,005%), Ga (0,001%).

Арфведсониты были подвергнуты также термическому анализу в лаборатории ИГЕМ. Результаты для каждого из образцов несколько отличны друг от друга.

Дифференциальная кривая арфведсонита из щелочного пегматита представлена на рис. 1, а. На ней нет ясно выраженных экзотермических максимумов, небольшой экзотермический подъем ДТА-кривой начинается при температуре 300°; эндотермический эффект с максимумом при 1020° характеризует распад минерала и сопровождается его плавлением (вторая эндотермическая волна при 1050°). Потеря веса в процессе регистрации ДТА не обнаружена (ошибка опыта 0,5%). Химический анализ образца, нагретого до 900°, показал содержание закиси железа 1,29%, т. е.

Таблица 2

Химический состав магнезиальных арфведсонитов и их параметры

	Из щелочных пегматитов		Из альбит-арфведсонитовых пород	
	вес. %	атомное количество	вес. %	атомное количество
SiO <sub>2</sub>	53,45	8893	52,27	8697
TiO <sub>2</sub>	0,60	0075	0,74	0093
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,17	0229	2,38	0466
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,25	1534	10,75	1346
FeO	7,61	1059	5,90	0821
MnO	1,31	0185	3,75	0529
MgO	10,74	2664	8,34	2068
CaO	0,79	0141	1,27	0226
Na <sub>2</sub> O	7,88	2542	8,70	2806
K <sub>2</sub> O	1,46	0310	2,40	0508
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,02	—	0,08	0100
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2,25	0250	1,35	1500
ZnO	—	—	0,16	0010
ZrO <sub>2</sub>	—	—	0,15	0010
Li <sub>2</sub> O	0,15	0012	0,57	0382
Rb <sub>2</sub> O	0,01	—	0,02	—
Cs <sub>2</sub> O	0,01	—	0,02	—
F	0,85	0447	2,32	1221
Сумма за вычетом F <sub>2</sub> = O	100,19		100,18	
a <sub>0</sub>	9,80		9,81	
b <sub>0</sub>	18,08		17,98	
c	5,32		5,22	
β	75°13'		74°50'	

его количество уменьшилось на 6,32% в результате перехода в окисное состояние. Таким образом, отсутствие изменения веса при одновременном окислении большого количества железа в процессе нагревания минерала, по-видимому, связано с внутримолекулярной перегруппировкой элементов без привлечения кислорода из атмосферы.

Кривая нагревания для арфведсонита из альбит-арфведсонитовой породы (рис. 1, б) имеет два отчетливых экзотермических эффекта и один эндотермический эффект. Сопряженная с ней кривая изменения веса при нагревании, начиная от 100 до 1000°, показывает постепенную потерю веса с конечным результатом 2,1% и как будто не отражает термических эффектов дифференциальной кривой. По-видимому, это так и есть, т. е. экзотермические эффекты связаны с окислением без диффузии кислорода из воздуха, а эндотермический эффект (1100°) — результат распада решетки минерала. Следовательно, и в том, и в другом случаях процессы прошли без изменения веса. Однако категорическая расшифровка экзо-

термических пиков (200—450°) как результатов окисления (сначала, возможно, марганца, затем железа; Kissinger а. о., 1956) не совсем правдоподобно, так как прямые доказательства этого получены не были. Этот же образец амфибола был исследован А. М. Усенко в автоматической бюретке Берга. Нагревание проводилось от 100 до 1300° (температура повышалась на 100° в течение 10 мин.). Испытания образца проводились с поглотителем фтора РвО (кривая 2 на рис. 2) и без него (кривая 1).

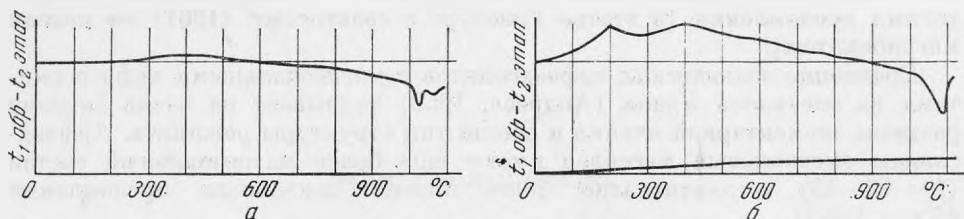


Рис. 1. Дифференциальные кривые нагревания арфведсонитов

а — минерал из щелочного пегматита (потери веса нет), б — минерал из альбит-арфведсонитовой породы (потеря веса 2,1%)

Результаты показывают, что до 800° шло постепенное выделение летучих. При 900° потери резко увеличились, по-видимому за счет фтора, так как кривая, отражающая результаты опыта с поглотителем, продолжает плавно подниматься вверх. На этой последней наблюдается резкий скачок в интервале 110—1200°, когда происходит распад и плавление образца. При 1300° потери воды и фтора составили 2,52% (две трети от их суммы в природном минерале). В образце после прокаливания В. В. Данилова определила содержание фтора (1,10%). По-видимому, почти весь

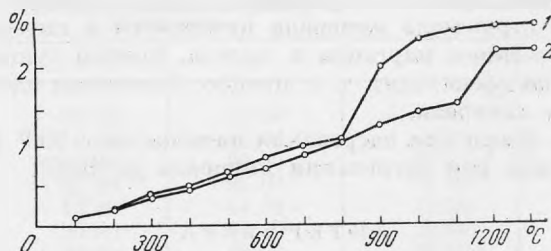


Рис. 2. Кривые нагревания на приборе Берга арфведсонита из альбит-арфведсонитовой породы

По оси ординат — потери при прокаливании (в вес. %):  
1 — нагревание минерала без поглотителя фтора,  
2 — нагревание минерала с поглотителем фтора

остаток летучих (1,23%) принадлежит фтору, имеющему прочные связи в минерале.

Таковы краткие сведения о составе и свойствах фторсодержащих магниезальных арфведсонитов щелочных пород Заангарья.

Приведем некоторые сравнительные данные по арфведсонитам щелочных пород из других мест. В нефелин-сиенитовых интрузиях ряда провинций наблюдается большое разнообразие состава, строения и свойств щелочных амфиболов. Арфведсониты, широко распространенные в пегматитах Хибин, имеют переменный состав ряда арфведсонит-баркевикит (Костылева, 1937), отличаются высокой железистостью ( $f = 85-89$ ) и заметной примесью титана. Структура их, по-видимому, близка к родуситу (Гинзбург и др., 1961).

В Ловозерском массиве арфведсониты очень широко распространены в роговообманковых луювритах, урритах, пегматитах (Власов и др., 1959). Сравнение показывает, что заангарские арфведсониты по оптическим и химическим свойствам близки ловозерским ( $cNp = 7-35^\circ$ ,  $Ng = 1,668-1,701$ ,  $f$  в среднем 70, фтора — до 2,23%). А. М. Бондарева с соавторами (1959) описали литийсодержащий щелочной амфибол из контактной зоны Ловозерского массива, который по химическому составу вполне аналогичен заангарским арфведсонитам, но отличается более низкими показателями преломления [в статье Гинзбург с соавторами (1961) он назван магрибекитом].

Сравнение заангарских арфведсонитов с магнезиальными арфведсонитами из змеевиков Урала (Андреев, 1959) указывает на очень близкие размеры элементарной ячейки и общий тип структуры режикита. Арфведсониты змеевиковых массивов имеют еще более магнезиальный состав ( $f = 41-43$ ) и значительно более низкие показатели преломления ( $Ng = 1,642$ ).

### ВЫВОДЫ

1. Арфведсониты щелочных пегматитов и метасоматических пород, генетически связанных с нефелиновыми сиенитами Енисейского края, относятся к магнезиальной разновидности, содержащей фтор и литий. Они близки по составу к арфведсонитам ловозерских щелочных пород, особенно к амфиболам из контактной зоны массива.

2. По рентгенометрическим исследованиям Г. А. Сидоренко, описываемые минералы имеют структуру типа режикита, т. е. магнезиального арфведсонита. Структурно они весьма близки магнезиальным арфведсонитам щелочно-амфиболовых месторождений Урала, описанных Ю. К. Андреевым.

3. На основании кривых нагревания (ДТА) можно предположить, что перестройка структуры минерала начинается в интервале  $200-450^\circ$  и связана с окислением марганца и железа, причем существенное изменение при этом не происходит, т. е. процесс окисления идет за счет внутренних ресурсов минерала.

4. Отделение фтора при нагревании начинается с  $900^\circ$  и полностью не заканчивается даже при нагревании минерала до  $1300^\circ$ .

### ЛИТЕРАТУРА

- Андреев Ю. К. Щелочно-амфиболовая минерализация в некоторых змеевиковых массивах Урала. — Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 39, 1959.
- Бондарева А. М., Рогачев Д. Л., Сахаров А. С. Литийсодержащий щелочной амфибол из контактной зоны Ловозерского массива. — Записки Всес. мин. об-ва, 1959, ч. 88, вып. 6.
- Власов К. А., Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Ловозерский щелочной массив. Изд-во АН СССР, 1959.
- Гинзбург И. В., Сидоренко Г. А., Рогачев Д. Л. О зависимости между главными изоморфными замещениями и некоторыми параметрами кристаллической структуры амфиболов. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 12, 1961.
- Костылева Е. Е. Группа роговых обманок. — Сб. «Минералы Хибинских и Ловозерских тундр». Изд-во АН СССР, 1937.
- Kissinger H. E., Mac Murdie H. F., Simpson B. S. Thermal decomposition of manganese and ferrous carbonates. — J. Amer. Ceram. Soc., 1956, 39, N 5.