

В. И. ФИЛИППОВСКИЙ, Б. С. СИТДИКОВ

## ГРАНАТЫ И ГРАНАТОВЫЕ ПОРОДЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ТАТАРИИ И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

(Представлено академиком В. С. Соболевым 4 I 1972)

Среди гранатосодержащих пород в фундаменте Татарии наиболее часто встречаются гранат-биотитовые и гранат-биотит-силлиманитовые гнейсы, реже — гиперстеновые и амфиболовые плаггиогнейсы, амфиболиты и гранитоиды, еще реже — диоритоиды (Степноозерская скв. № 609).

Детальные исследования гранатов с целью установления их фациальной принадлежности впервые проведены Б. Г. Яковлевым<sup>(9, 10)</sup>. Нами исследовано еще несколько монофракций гранатов (табл. 1) и сделано обобщение накопившегося материала.

Большая часть изученных гранатов относится к пироп-альмандиновым<sup>(9, 10)</sup>, реже встречаются гроссуляр-альмандиновые (Ульяновская скв. № 125). Высокое содержание андрадита и гроссуляра характерно лишь для гранатов из богатых кальцием пород (амфиболитов, амфиболовых и амфиболпироксеновых плаггиогнейсов). Для пород с биотитом и силлиманитом более характерны пирон-альмандины с суммарным содержанием гроссуляра и андрадита 5—11%.

Составы гранатов в виде окислов и компонентов нанесены на треугольные диаграммы (рис. 1) с полями метаморфических фаций по<sup>(4, 8)</sup>. На

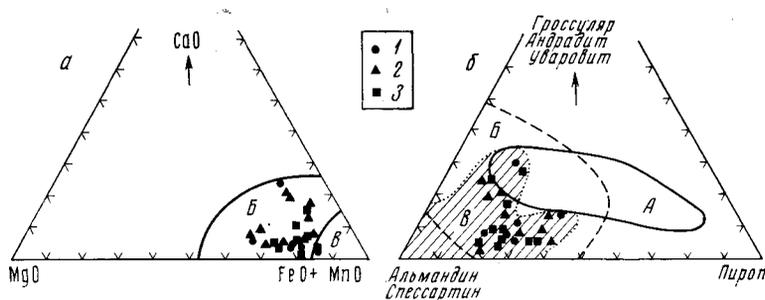


Рис. 1. Составы гранатов из пород фундамента Татарии. *a* — их фациальная принадлежность по<sup>(4)</sup>; *b* — составы на диаграмме Н. В. Соболева<sup>(8)</sup>. *A* — поле эклогитовой фации, *B* — гранулитовой, *B* — амфиболитовой; 1 — наши данные, 2 — анализы Б. Г. Яковлева, 3 — анализы Н. К. Дмитренко

рис. 1*a* лишь гранат из Сулинской скв. № 62 попадает в поле амфиболитовой фации (две точки в поле *B* — параллельные анализы), хотя по температурам образования (см. табл. 3) в это же поле должны попасть гранаты Мокшинской скв. № 79, Черемшанской скв. № 415 и др. На рис. 1*b* фигуративные точки гранатов одновременно принадлежат двум и даже трем фациям, отражая составы пород в большей мере, чем условия метаморфизма. Ранее констатировалось<sup>(4)</sup>, что даже в метapelитовом ряду вариации в составе гранатов часто следует объяснять вариациями в исходном составе пород, а результаты расшифровки физических условий образования пород, по-

лучаемые при использовании отдельных минералов переменного состава, крайне недостоверны.

Д. А. Великославинский<sup>(2)</sup> показал, что с возрастанием степени метаморфизма (главным образом температурой) содержание спессартита в пиральспитах (в условиях силлиманитовой зоны уменьшается до 0–5 мол. % независимо от типа породы и типа метаморфизма (главным образом — господствующих давлений)). Низкие содержания спессартита в гранатах фундамента Татарии (0–1,7, редко 3,9–5,0 мол. %) указывают на значительные температуры образования гранатовых пород по

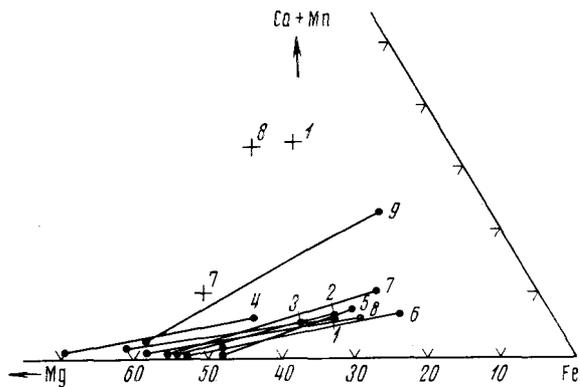


Рис. 2. Составы пар гранат—биотит и некоторых пород, содержащих эти пары (крестики) из фундамента Татарии на треугольнике М. П. Атертона<sup>(1)</sup>. Номера соответствуют табл. 3. Уменьшение углов наклона связующих линий относительно основания треугольника идет в последовательности: 9, 5, 7, 6, 8 и т. д., часто совпадая с порядком увеличения температуры по табл. 3

М. П. Атертоном<sup>(1)</sup> и заключается в том, что на треугольнике Mg—Fe—(Ca+Mn) наносятся составы биотита\* и граната и составы содержащих их пород (рис. 2). Наклоны линий — коннод, связующих пары минералов, относительно основания треугольника определяют физические условия образования пород. Точки составов пород в идеальном случае должны располагаться на коннодах и указывать на полноту распределения названных выше элементов между минеральными парами. Обычно же, как и на рис. 2, точки составов пород значительно удалены от линий, что указывает на присутствие в породе других минералов, в состав которых также входят указанные элементы. Основным элементом, искажающим идеальное положение точек состава пород, очевидно, является Са.

Более определенная, но также относительная оценка условий образования гранато-биотитовых пород Татарии произведена методом М. Фроста<sup>(11)</sup>. Ошибка метода составляет не более 1/3 температурной ступени амфиболитовой фации, а метаморфические фации и зоны разделены следующими значениями *M* (коэффициент для оценки степени метаморфизма):

Фа ц и и		З о н ы	
3,6	{ Зеленосланцевая Эпидот-амфиболитовая	3,2	{ Хлоритовая Альмандиновая
4,2		4,0	
5,1	{ Амфиболитовая Гранулитовая	4,8	{ Кварцитовая Силлиманитовая

\* Сведения о биотитах приведены нами отдельно (статья «Биотиты кристаллических пород фундамента Татарского свода», в печати) и в работе Н. К. Дмитренко<sup>(3)</sup>.

Таблица 1

Химический и компонентный состав гранатов из пород фундамента Татарии (%)

	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	37,46	36,40	37,83	38,03	38,39	37,01
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,24	22,49	20,28	22,73	25,13	17,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80	2,59	3,24	4,27	3,31	0,31
FeO	28,08	31,35	24,80	22,96	25,19	34,44
MnO	0,84	1,53	0,37	0,35	0,56	1,43
MgO	7,41	5,02	4,90	10,19	6,40	7,68
CaO	1,44	1,04	8,98	1,84	1,45	1,80
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,02		0,01		
K <sub>2</sub> O	0,05	0,04		0,04		
Сумма	100,35	100,50	100,42	100,44	100,45	100,19
Пироп	29,4	19,7	18,1	38,4	27,1	26,1
Альмандин	62,6	69,0	51,4	47,7	59,8	66,4
Спессартин	2,1	3,3	0,6	0,6	1,5	2,6
Гроссуляр	4,1	3,0	23,8	5,0	4,5	4,3
Андрадит	1,7	5,0	6,0	8,3	7,0	0,6
N	1,788	1,800	1,793	1,780	1,804	1,803

Примечание. Аналитик А. И. Гусева, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР. Из ан. 4 вычтена примесь 2% ильменита, из ан. 5 вычтена примесь 5% пирита. Точность измерения показателей преломления  $\pm 0,003$ . 1 — гранат из сидлиманито-биотитового гнейса с прослойками гиперстенового, Азев-Салаушская свк. № 28; 2 — из (сидлиманито)-гранато-биотитового гнейса, Сулинская свк; 62; 3 — из гранато-диоксидо-биотитового плагиогнейса, Ульиновская свк. № 125; 4 — из гранато-биотито-сидлиманитового гнейса с прослойками гранато-гиперстенового, Ново-Елховская свк. № 223; 5 — из (гранато)-биотитового плагиогнейса, Ямашинская свк. № 254; 6 — из гранато-биотито-сидлиманитового гнейса, Уратьминская свк. № 299.

Кристаллохимические формулы гранатов:

- 1—  $(\text{Fe}_{1,81}^{2+}\text{Mg}_{0,85}\text{Fe}_{0,03}^{3+}\text{Ca}_{0,12}\text{Mn}_{0,06})_{2,89}\text{Al}_{2,20}(\text{Si}_{2,88}\text{Ti}_{0,01})\text{O}_{12}$
- 2—  $(\text{Fe}_{2,07}^{2+}\text{Mg}_{0,59}\text{Fe}_{0,15}^{3+}\text{Ca}_{0,09}\text{Mn}_{0,10})_{3,0}\text{Al}_{2,11}(\text{Si}_{2,87}\text{Ti}_{0,01})\text{O}_{12}$
- 3—  $(\text{Fe}_{1,62}^{2+}\text{Mg}_{0,57}\text{Fe}_{0,19}^{3+}\text{Ca}_{0,75}\text{Mn}_{0,02})_{3,15}\text{Al}_{1,87}(\text{Si}_{2,96}\text{Ti}_{0,01})\text{O}_{12}$
- 4—  $(\text{Fe}_{1,44}^{2+}\text{Mg}_{1,16}\text{Fe}_{0,25}^{3+}\text{Ca}_{0,15}\text{Mn}_{0,02})_{3,02}\text{Al}_{2,04}(\text{Si}_{2,89}\text{Ti}_{0,01})\text{O}_{12}$
- 5—  $(\text{Fe}_{1,61}^{2+}\text{Mg}_{0,73}\text{Fe}_{0,19}^{3+}\text{Ca}_{0,12}\text{Mn}_{0,04})_{2,69}\text{Al}_{2,25}(\text{Si}_{2,92}\text{Ti}_{0,01})\text{O}_{12}$
- 6—  $(\text{Fe}_{2,31}^{2+}\text{Mg}_{0,91}\text{Fe}_{0,02}^{3+}\text{Ca}_{0,15}\text{Mn}_{0,09})_{3,48}\text{Al}_{1,66}(\text{Si}_{2,89}\text{Ti}_{0,01})\text{O}_{12}$

Таблица 2

Распределение элементов в сосуществующих гранатах и биотитах и метаморфический индекс по М. Фросту (11) \*

Разведочная площадь, № свк.	Гранат					Биотит			K	M
	ат. %				Xa	ат. %		Xb		
	Mg	Fe <sup>++</sup>	Mn	Ca		Mg	Fe <sup>++</sup>			
Ямашинская, 254	29,2	64,5	1,5	4,8	0,305	48,3	51,7	0,483	2,126	5,11
Уратьминская, 299	26,4	66,4	2,8	4,4	0,278	48,2	51,8	0,482	2,416	5,03
Азев-Салаушская, 28	30,0	63,8	2,0	4,2	0,314	54,2	45,8	0,542	2,583	4,98
Кут-Надеевская, 164	30,6	64,4	1,8	3,2	0,317	61,4	38,6	0,614	2,552	4,99
Ново-Елховская, 223	36,0	58,9	1,2	3,9	0,373	61,4	38,6	0,614	2,673	4,96
Сулинская, 62	41,3	52,5	0,8	5,4	0,431	69,6	30,4	0,696	3,023	4,88
	20,6	72,5	3,7	3,2	0,217	52,7	47,3	0,527	4,009	4,69
	19,4	75,2	1,0	4,4	0,201	45,7	54,3	0,457	3,349	4,81
Усть-Икская, 322	22,0	67,8	1,9	8,3	0,236	55,5	44,5	0,555	4,038	4,69
Мокшинская, 79	26,2	67,4	1,2	4,8	0,277	58,3	41,7	0,583	3,638	4,76
	21,7	69,5	—	8,8	0,230				4,677	4,60
Черемшанская, 415	14,7	61,9	5,4	18,0	0,175	53,6	46,4	0,536	5,457	4,50

\* Здесь и в табл. 3 использованы также анализы из работ (9, 10).

Таблица 3

Мольные доли магния в сосуществующих парах биотит-гранат и температуры их образования

№ п.п.	Разведочная площадь, № скв.	X <sub>Би Mg</sub>	X <sub>Гр Mg</sub>	T°, C	Порода
1	Ямашинская, 254	0,479	0,307	755	Гранатсодержащий биотитовый плагиогнейс
2	Азев-Салаушская, 28	0,541	0,313	720	Гранат-силлиманитовый гнейс с прослоями гиперстенового
3	Кут-Кадеевская, 164	0,614	0,375	720	Биотит-гранат-силлиманитовый гнейс
4	Ново-Елховская, 223	0,697	0,437	720	Гранат-силлиманит-биотитовый гнейс с прослоями гиперстенового
5	Уральминская, 299	0,481	0,276	715	Гранат-биотит-силлиманитовый гнейс
6	Сулинская, 62	0,526	0,213	640	Биотит-гранатовый гнейс
		0,457	0,203	660	
7	Усть-Икская, 322	0,556	0,240	650	То же
8	Мокшинская, 79	0,578	0,279	630	Биотит-гранатовый гнейс с прослойками силлиманитового
			0,238	660	
9	Черемшанская, 415	0,538	0,180	600	Биотит-амфиболовый гнейс с гранатом

Результаты расчетов по <sup>(11)</sup> (см. табл. 2) показывают, что большая часть изученных пород метаморфизована в условиях гранулитовой и высокотемпературной части амфиболитовой фации или в условиях силлиманитовой зоны, что близко соответствует выводу по поведению марганца в гранатах.

Индивидуальные значения температур образования этих же пород получены нами при помощи геотермометра Л. Л. Перчука <sup>(5-7)</sup> и приводятся в табл. 3. Биотит-гранатовый термометр рассчитан для статистически средних составов; при этом показано <sup>(7)</sup>, что распределение железа и магния в равновесии гранат — биотит зависит главным образом от температуры и меньше — от состава минералов и давления. Отличия составов изученных минералов, особенно гранатов, от средних незначительны. Кроме того, большая часть их выделена из метапелитов, для которых геотермометр показывает наиболее точные результаты, совпадающие с экспериментальными <sup>(5)</sup>, поэтому температуры образования пород (см. табл. 3, кроме Черемшанской скв. № 415) следует считать достаточно точными.

Присутствие в изученных породах силлиманита подтверждает это. Так, по данным Геофизической лаборатории Института Карнеги 1968 г. <sup>(7)</sup> силлиманит образуется лишь при температурах более 622°. Температуры образования силлиманитсодержащих пород Татарии по геотермометру исключительно постоянны: 720; 720; 715 и 720° и лишь для породы Мокшинской скв. № 79 — 645°, хотя анализировались породы из весьма удаленных друг от друга точек. Полученные температуры и диаграмма полиморфных превращений Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> позволяют установить также пределы возможных колебаний давления при образовании силлиманитовых пород Татарии, которые составляют 4—8 кбар для пород, образовавшихся при температуре 720°, и более узкий диапазон (5—6 кбар) для породы Мокшинской скв. № 79.

Казанский государственный университет  
им. В. И. Ульянова-Ленина

Поступило  
24 XII 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. П. Атертон, В кн. Природа метаморфизма, М., 1967. <sup>2</sup> Д. А. Великостлавинский, В сборн. Региональный метаморфизм докембрийских формаций СССР, «Наука», 1965. <sup>3</sup> Н. К. Дмитренко, ДАН, 178, № 6 (1968). <sup>4</sup> Б. Г. Лутц, Петрология гранулитовой фации Анабарского массива, «Наука», 1964. <sup>5</sup> Л. Л. Перчук, ДАН, 177, № 2 (1967). <sup>6</sup> Л. Л. Перчук, Изв. АН СССР, сер. геол., № 12 (1968). <sup>7</sup> Л. Л. Перчук, Равновесия породобразующих минералов, «Наука», 1970. <sup>8</sup> Н. В. Соболев, Международн. геол. конгр., XXII сессия, докл. сов. геол., пробл. 13, 1964. <sup>9</sup> Б. Г. Яковлев, ДАН, 171, № 4 (1966). <sup>10</sup> Б. Г. Яковлев, ДАН, 171, № 5 (1966). <sup>11</sup> M. Y. Frost, Geol. Mag., 99, № 5 (1962).