

В. А. БОРОНИХИН, В. А. БАСКИНА

**МИНЕРАЛЫ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ В КИСЛЫХ ВУЛКАНИТАХ
(ПРИМОРЬЕ) (ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНОГО
МИКРОАНАЛИЗА)**

(Представлено академиком Ф. В. Чухровым 29 V 1974)

Железо-магнезиальные гранаты в силу своих свойств (восьмерная координация магния и железа, высокая плотность) рассматриваются как минералы высоких давлений, а раннемагматические выделения гранатов в лавах служат одним из немногих реперов для оценки давлений (глубин) начала кристаллизации этих лав. Поэтому находки граната в вулканических породах щелочноземельных серий всегда привлекают внимание петрографов. К настоящему времени детально описано лишь несколько комплексов гранатосодержащих щелочноземельных вулканитов ⁽¹⁻³⁾.

В некоторых районах Приморья вулканические породы, главным образом кислые, содержат альмандин-пироповые гранаты в качестве аксессуарной примеси. Гранаты по облику являются фенокристаллами: они однородны, прозрачны, лишены включений, идиоморфны и даже в протоочных пробах сохраняют часть граней.

В породах нескольких вулканических тел липаритов, дацитов и андезитов наряду с гранатами, иногда в сростании с ними, обнаружены хромсодержащие минералы фации дистеновых эклогитов: омфацинты, дистены, пиропы, а также хромит. Составы некоторых из проанализированных минералов приведены в табл. 1.

Содержащие эти минералы андезиты, трахиандезиты, дациты, трахидациты, липариты и базальты образуют дайки, некки, субвулканические тела, потоки лав, а также ассоциированные с ними мелкие интрузивные тела. Они входят в состав сложной куполовидной постройки Маяк в верховьях Уссури, а также образуют скопления изверженных тел и покровов в узлах пересечения ослабленных тектонических зон и разломов (в бассейнах рек Рудной, Лидовки, на побережье Японского моря близ Тернея).

Анализ минералов проводился на рентгеновском микроанализаторе MS-46 фирмы «Самеса». Ускоряющее напряжение 15 кв, ток зонда 30 на. Кристаллами-анализаторами служили кварц (1011), РЕТ и КАР.

Под зондом идентифицировались по количественному составу все зерна исследуемых гранатов. Если внутри группы все зерна имели один состав, то анализ проводился выборочно на одном зерне; в противном случае анализировались все зерна.

Введение поправок на различие в составах эталонов и образцов проводилось на ЭВМ по модифицированной программе Шпрингера ⁽⁴⁾.

Составы гранатов из изверженных пород Сихотэ-Алиня показаны на рис. 1. Состав минералов однообразен как в петрохимически различных породах (базальтах, габбро-порфиритах, трахиандезитах, дацитах, липаритах), так и в породах разновозрастных комплексов, залегающих на различном по мощности и строению фундаменте. Гранаты вулканитов При-

Состав гранатов и других минералов высоких давлений в эффузивах Приморья
(вес. %)

№ пробы	Порода	Место взятия	SiO ₂		TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Отношения конечных молекул			
														Альм	Спес	Пир	Грос
Гранаты																	
121	Базальт	р. Уссури	38,7	—	20,3	—	30,3	0,4	2,9	7,0	—	—	—	67	1	12	20
121	То же	р. Медведка	38,3	—	20,2	—	38,6	2,0	2,5	0,6	—	—	—	82	4	12	2
408	Долерит	р. Зеркаль- ная	38,9	—	19,9	—	28,8	2,9	6,6	4,2	—	—	—	59	6	24	11
408—1	То же	То же	39,0	—	20,5	—	30,9	1,9	7,1	1,0	—	—	—	65	4	27	4
124	Трахиандезит	р. Уссури, г. Маяк	35,8	—	20,1	—	37,8	0,8	3,1	0,8	—	—	—	84	2	12	2
124	То же	То же	38,7	—	21,3	—	30,3	0,3	3,6	7,2	—	—	—	66	1	14	20
129	Андезит-да- цит	р. Уссури, г. Маяк	36,6	—	19,6	—	33,0	0,26	3,9	7,4	—	—	—	65	1	15	20
129	То же	То же	37,0	—	20,7	—	39,0	1,7	2,8	0,6	—	—	—	84	4	11	1
30—1	Дацит	Вулкан Ла- герный, Ка- валерово	38,0	—	19,7	—	32,2	2,4	4,8	3,7	—	—	—	67	5	18	10
98—1	Туф липари- та	г. Мира	36,4	—	18,8	—	35,7	5,3	0,8	1,6	—	—	—	80	12	3	5
123—3	То же	То же	37,2	—	19,1	—	27,2	7,0	1,35	6,2	—	—	—	61	16	5	13
153	Липарит	р. Рудная	37,2	—	21,0	—	34,8	0,3	3,4	2,8	—	—	—	77	1	14	8
461	Липарито-да- цит	То же	39,1	—	20,8	—	31,0	0,9	8,7	1,3	—	—	—	62,7	1,9	33,3	3,1
483—1	Дацит	р. Грушевая	37,4	—	20,3	—	38,6	0,2	2,7	2	—	—	—	83	1	10	6
483—2	То же	То же	38,5	—	21,2	—	19,3	0,44	9,6	10,0	—	—	—	39	1	34	26
483	» »	» »	39,6	—	22,4	—	24,15	0,7	13,1	0,8	—	—	—	49	2	47	2
490	Липарит	» »	36,7	—	19,9	—	35,6	6,2	7,1	0,2	—	—	—	59,6	14	26	0,4
2158	Аплитовид- ный гранит	кл. Исаков	39,6	—	21,3	—	22,9	0,04	14,7	—	—	—	—	45	—	55	—
560	Липарит	г. Нежланка	39,1	—	20	—	26,2	0,6	10,0	1,8	—	—	—	56	1	38	5
461	Липарито-да- цит	Верховья р. Уссури	42,5	—	20,85	2,09	11,3	0,2	19,2	5,2	—	—	—	20,8	0,2	66	13
461—4	То же	То же	43,3	—	19,8	2,03	13,5	0,35	13,7	8,6	—	—	—	27,5	0,7	49,5	22,3
316	» »	» »	41,4	—	22,0	0,4	12,2	0,3	17,1	5,7	—	—	—	23,4	0,5	62	14,1
107	Андезит	г. Маяк	40,4	—	20,75	0,98	12,9	0,3	14,4	7,75	—	—	—	24,6	0,7	54	20,7
606	Фельзит	р. Рудная	43,4	—	21,7	1,61	8,5	0,35	20,8	4,6	—	—	—	17	1	71	11
433	Плагиопор- фир	р. Высоко- горская	41,7	—	21,2	1,74	8,8	0,4	19,7	4,5	—	—	—	18	1	70	11

Хромомфациты

461	Липарито- дацит	р. Уссури	47,13	0,16	10,85	3,18	4,15	0,03	17,3	11,5	3,5	0,41					
316—2	То же	То же	48,1	0,16	10,55	2,20	4,14	0,04	17,4	12,0	3,5	0,39					
316—3	» »	» »	49,0	0,21	9,5	2,80	3,4	—	17,9	11,7	3,55	0,38					
107	Андезит	г. Маяк	48,5	0,15	13,6	2,25	3,5	—	17,4	11,6	2,9	0,37					
144	Туф липарита	г. Мира	48,1	0,13	11,0	3,33	3,5	—	17,1	11,0	3,3	0,40					
61	Липарито-да- цит	р. Рудная	55,7	0,12	7,4	0,85	2,9	—	11,1	18,1	5,0	—					
321	Липарит	Кавалеро- ро, То- чиль- ная	50,0	0,13	19,9	2,96	3,7	—	17,0	11,4	2,94	0,40					

Дистены и хромиты

316	Липарито-да- цит	Верховья р. Уссури	37,4	—	32,3	9,5	0,4	—	—	—	—	—					
461	То же	То же	38,2	—	32,2	9,3	0,3	—	—	—	—	—					
107	Андезит	г. Маяк	37,3	—	33,9	8,96	0,4	—	—	—	—	—					
461	Липарито-да- цит	р. Уссури	—	—	18,7	51,6	24,4	0,2	6,5	—	—	—					
107	Андезит	г. Маяк	—	—	16,4	53,9	23,9	0,2	6,5	—	—	—					

морья имеют те же составы, что и породообразующие гранаты из всех известных гранатосодержащих андезит-липаритовых комплексов (Англия, Япония, Австралия, Чехословакия), которые подстилаются породами, сильно варьирующими по составу, мощности и степени метаморфизма. По-видимому, уже одно это позволяет рассматривать гранаты как собственные минералы вулканических пород, а не ксенокристаллы, попавшие

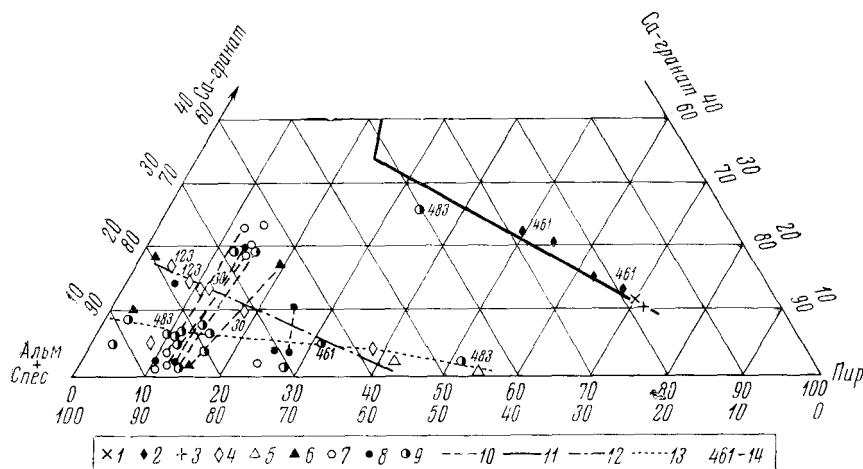


Рис. 1. Составы гранатов из вулканических пород (и связанных с ними интрузивов) Приморья на диаграмме пирон — Са-компонент — альмандин — спессартин (мол. %). 1 — хромсодержащие гранаты, 2 — то же, в сростании с дистеном, хромомфацитом, хромитом; 3 — гранаты без примеси хрома, ассоциированные с 2; 4—9 — типы пород, из которых проанализированы гранаты: 4 — каликатровые липариты, 5 — аплитовидные граниты, 6 — диориты, монцониты, 7 — андезиты, 8 — базальты, 9 — липариты, дациты; 10 — конноды, связывающие составы сосуществующих гранатов; 11—13 — поля гранатовых «серий», различающихся Са/Fe-отношением: 11 — граница (нижняя по Са) поля гранатов из гросспидитов и дистеновых эклогитов — включений в кимберлитах (по (11)), 12, 13 — серии сосуществующих гранатов (Приморье) с устойчивыми Са/Fe-отношениями; 14 — номер пробы (табл. 1)

в расплав из метаморфического субстрата, как это часто предполагается (например, (5)). Тот факт, что гранаты вулканитов Приморья встречаются в свежих стеловатых эффузивах (вплоть до обсидианов) и туфах, также позволяет отнести эти гранаты к минералам ранней стадии кристаллизации. Кроме того, и во всех описанных случаях (1—3), как это явствует из структурных отношений, гранат является ранним магматическим минералом, в значительной степени корродированным или замещенным при кристаллизации фенокристаллов плагиоклазов, пироксенов и др.

Для оценки условий кристаллизации гранатов рассмотрены результаты экспериментов с силикатными расплавами (5—9). Известно, что кроме главной области устойчивости гранатов, ограниченной в щелочноземельных расплавах давлениями 9—11 кбар, альмандиновые гранаты устойчивы и при низких давлениях. Однако в природных магматических образованиях гранаты, кристаллизующиеся при низких общих давлениях (в литофизах лав, в пегматитовых телах и как акцессорные минералы гранитов), обогащены марганцем. Поскольку исследованные гранаты слабо марганцовистые, они с большей долей уверенности отнесены здесь к альмандинам «высоких давлений».

Выявляются следующие особенности состава гранатов. К наиболее глубинным мы относим хромсодержащие пиропы, встреченные вместе с другими минералами дистеновых эклогитов. До сих пор такая ассоциация

минералов описана лишь в виде включений в кимберлитах и рассматривается как фация сверхвысоких давлений (⁹). Такие гранаты из кислых вулканитов Приморья размещаются в поле составов гранатов из дистеновых эклогитов в кимберлитах (⁹) вдоль нижней границы этого поля. Они образуют серию минералов с равным $\text{Ca}/(\text{Fe}+\text{Mn})$ -отношением.

Бедные магнием альмандины в кислых вулканических и некоторых интрузивных телах образуют сходную серию близких по $\text{Ca}/(\text{Fe}+\text{Mn})$ минералов (рис. 1).

Во многих вулканических телах, главным образом базальтового, андезитового и андезито-дацитового состава, помимо отмеченных выше гранатов одновременно присутствуют разности альмандинов с низким и с высоким содержанием CaO . Различия между такими сосуществующими гранатами достигают 15–18 мол. % Ca -составляющей.

Гранаты, принадлежащие к главным выделенным сериям — богатых кальцием хромсодержащих пиропов и бедных кальцием бесхромовых пироп-альмандинов, — присутствуют в одних и тех же породах (№№ 483, 461 и др.). К единым сериям принадлежат гранаты из пород различного состава (от базальтов до липаритов). Поэтому мы предполагаем, что наличие нескольких типов гранатов отражает те уровни давлений (глубин), на которых происходила кристаллизация магм. Наибольший диапазон давлений (судя по присутствию хромсодержащих гранатов, ассоциированных с другими минералами дистеновых эклогитов) характерен для некоторых субвулканических тел липарито-дацитового состава из андезит-липаритовых построек близ Дальнегорского, Кавалеровских, Высокогорского месторождений, а также в верховьях Уссури (г. Маяк и др.).

Судя по наблюдениям над пироповыми гранатами и по результатам экспериментов, область кристаллизации бедных марганцем альмандинов характеризуется давлениями 10 кбар и выше. О таких же давлениях свидетельствует содержание хрома в дистенах (⁹).

Используя принятые соотношения между общим давлением и расстоянием от поверхности Земли, можно сделать вывод, что в ряде районов Сихотэ-Алиня расплавы базальтового, андезитового, дацитового и липаритового состава начинали кристаллизоваться на глубинах не менее 35–40 км, т. е. ниже границы коры.

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Академии наук СССР
Москва

Поступило
21 V 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ K. Konecny, Bull. volcan., v. 35, № 1 (1972). ² R. Z. Oliver, Geol. Mag., v. 93, N 2 (1956). ³ Y. G. Fitton, Contrib. Mineral. Petrol., v. 36, № 3 (1972). ⁴ G. Springer, Fort. Mineral., B. 7, N. 1 (1967). ⁵ B. Y. Hensen, D. H. Green, Contrib. Mineral. Petrol., v. 35, № 4 (1972). ⁶ P. Y. Wyllie, Struct. and Phys. Propert. Earth's Crust, Washington, 1972. ⁷ T. Green, A. E. Ringwood, J. Geol. Soc. Austral., v. 19, № 2, 21 (1972). ⁸ А. Э. Рингвуд, Д. Х. Грин, Изучение фазовых переходов, Кн. Земная Кора и Верхняя мантия, М., 1972. ⁹ Н. В. Соболев, Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии, Новосибирск, 1974.