

ем структурных элементов отмечаются простирации, близкие к северо-западному. Поднятия сложены меловыми и палеогеновыми породами, среди которых широкое развитие имеют вулкано-огенные образования [1]. В пределах подня-

тия отмечается впадина, выполненная неогеновыми отложениями с сопротивлением 50—150 Ом·м и мощностью до 800 м. Сопротивление меловой толщи меняется от 30 до 80 Ом·м, мощность достигает 6 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР. Т. 31. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1964.

*Камчатская геофизическая экспедиция
Елизово*

*Поступила в редакцию
31 марта 1983 г.*

УДК 552.323.3 : 549.642 : 552.11

В. В. Ревердатто, В. Н. Шаранов, Н. И. Волкова

ПИРОКСЕНЫ КИСЛЫХ ПЕМЗ ИЗ РАЙОНА СОЧЛЕНЕНИЯ ЖЕЛОБОВ ТОНГА И КЕРМАДЕК С ХРЕБТОМ ЛУИСВИЛЬ В ТИХОМ ОКЕАНЕ

Приводятся результаты химических анализов минералов из дацитовых пемз, собранных в 19-м рейсе НИС «Пегас» (1980 г.) при драгировании подводных гор в окрестностях островной вулканической дуги Тонга. Район исследования: 25—26° ю. ш. и 175—176° з. д. На рентгеновском микроанализаторе с электронным зондом JXA-5A выполнено 15 анализов ромбических пироксенов, 13 — моноклинных пироксенов, 3 — основных плагиоклазов, 4 — титаномагнетита, 1 — ильменита, а также 4 анализа стекла. Отмечена изменчивость

состава пироксенов в отношении железистости, глиноземистости, содержания хрома и других элементов. Сделан вывод о том, что вкрапленники пироксена и плагиоклаза имеют ксеногенную природу, будучи захвачены кислой пемзой на взрывной стадии. Считается, что фенокристы произошли из андезито-базальтов; температура их образования, судя по оценкам двупироксеновых «термометров», составляла 1025—1050°C. Давление воды в лаве превышало 2 кбар.

Во время 19-го рейса НИС «Пегас» (1980 г.) со склонов подводных возвышенностей, расположенных на стыке хр. Луисвиль с желобами Тонга и Кермадек в Тихом океане, были подняты обломки кислых пемз. Драгирование проводилось в лунках 26°02' ю. ш., 175°06' з. д. с глубины 3100 м (станция 4) и 25°51' ю. ш., 176°37' з. д. с глубины 4200 м (станция 7).

Пемзы представляют собой сильно пористые (пузыристые) порфиновые стекловатые аналоги плагиодацитов. В их составе преобладает бесцветное зеленоватое или светло-коричневое пенное стекло. Вкрапленники в пемзах составляют не более 1—5 об.%. Размер их — от долей миллиметра до 0,5 см. Порфиновые выделения представлены зернами водно-прозрачного основного плагиоклаза, бурого ромбического и зеленого моноклинного пироксена, а также титаномагнетитом и ильменитом. Силикатные

вкрапленники большей частью идиоморфны, обломанные или резорбированные зерна редки.

Нами было предпринято специальное изучение пироксенов из пемз для выяснения условий петрогенезиса кислой магмы в указанном регионе. На рентгеновском микроанализаторе с электронным зондом JXA-5A (аналитики Е. Н. Илларионова и Л. В. Усова) получены данные о содержаниях главных химических компонентов в ромбических и моноклинных пироксенах, в сопутствующих минералах, а также в стеклах. Исследования показали, что силикатные фенокристы практически незональны, состав их однороден в пределах зерен. Результаты анализов приведены в табл. 1 и 2. Примечательно, что пироксеновые вкрапленники имеют переменный состав даже в одном образце пемзы: железистость ($F = \frac{Fe}{Fe + Mg} 100\%$)

Результаты рентгеноспектральных анализов и кристаллохимические коэффициенты минералов. Станция 4

Минерал, компонент	Ортопироксены							Клинопироксены				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	53,018	53,005	53,635	52,896	49,745	51,395	—	51,540	53,428	51,530	52,139	51,415
TiO ₂	0,151	0,199	0,161	0,189	0,404	0,234	0,234	0,288	0,152	0,343	0,226	0,196
Al ₂ O ₃	0,435	1,117	0,639	0,873	0,922	0,853	0,622	1,668	1,444	1,857	2,116	2,632
Cr ₂ O ₃	0,047	0,029	0,0	0,0	0,0	0,028	—	0,098	0,538	0,051	0,030	0,030
FeO	21,618	18,704	18,255	19,626	33,480	25,734	30,625	8,788	2,901	9,751	8,145	9,093
MnO	1,555	0,401	0,484	0,513	1,598	0,153	1,512	0,396	0,00	0,262	0,273	0,210
MgO	22,371	24,698	25,264	24,300	13,167	19,909	17,051	16,288	18,009	15,400	16,857	15,887
CaO	1,045	1,895	1,788	1,745	1,624	1,515	1,630	20,344	23,185	20,131	20,460	20,583
Na ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,716	0,020	0,095	0,099	0,118	0,092	0,058
K ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	—	0,0	0,010	0,0	0,0	0,0
Сумма	100,241	100,049	100,226	100,143	100,940	100,537	—	99,503	99,765	99,443	100,340	100,106
Si	1,976	1,949	1,963	1,952	1,958	1,948	—	1,928	1,949	1,933	1,924	1,911
Ti	0,004	0,006	0,004	0,005	0,012	0,007	—	0,008	0,004	0,010	0,006	0,005
AlIV	0,019	0,048	0,028	0,038	0,042	0,038	—	0,072	0,051	0,067	0,076	0,089
AlVI	—	—	—	—	0,001	—	—	0,002	0,011	0,015	0,016	0,026
Cr	0,001	0,001	0,0	0,0	0,0	0,001	—	0,003	0,016	0,001	0,001	0,001
Fe	0,674	0,575	0,559	0,606	1,102	0,816	—	0,275	0,088	0,306	0,251	0,283
Mn	0,049	0,012	0,015	0,016	0,053	0,005	—	0,013	0,000	0,008	0,009	0,007
Mg	1,243	1,354	1,379	1,337	0,773	1,125	—	0,908	0,979	0,861	0,927	0,881
Ca	0,042	0,075	0,070	0,069	0,068	0,062	—	0,815	0,906	0,809	0,809	0,820
Na	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,053	—	0,007	0,007	0,009	0,007	0,004
Сумма	4,009	4,021	4,018	4,023	4,009	4,053	—	4,030	4,012	4,020	4,026	4,027
F	35,1	29,8	28,8	31,2	58,8	42,0	—	23,2	8,2	26,2	21,3	24,3

Окончание табл. 1

Минерал, компонент	Клинопироксены		Плагиоклазы		Магнетит	Ильменит	Стекло		
	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO ₂	49,787	—	45,145	44,057	—	0,0	74,038	—	—
TiO ₂	0,779	0,144	0,0	0,030	16,449	49,032	0,430	0,613	0,401
Al ₂ O ₃	3,084	2,719	33,780	35,935	2,314	0,111	13,774	13,456	12,936
Cr ₂ D ₃	0,020	—	—	0,0	—	0,119	—	0,0	0,0
FeO	12,950	4,060	0,688	0,667	—	50,949	3,899	—	3,197
MnD	0,677	0,106	0,018	0,021	0,597	1,230	0,243	0,126	0,084
MgO	12,901	16,994	0,173	0,020	1,092	0,917	0,662	1,520	0,249
CaO	19,694	23,783	19,726	18,788	—	0,095	3,743	—	2,215
Na ₂ O	0,243	0,107	0,618	0,696	—	0,0	1,674	1,550	0,825
K ₂ O	0,0	—	0,0	0,0	—	0,026	0,559	0,893	0,809
Сумма	100,135	—	100,149	100,213	—	102,479	99,022	—	—
Si	1,888	—	2,092	2,036	—	0,0	—	—	—
Ti	0,022	—	0,0	0,001	—	0,928	—	—	—
Al	0,112	—	1,846	1,957	—	0,003	—	—	—
Al	0,026	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	0,001	—	—	0,0	—	0,002	—	—	—
Fe	0,411	—	0,027	0,026	—	1,072	—	—	—
Mn	0,022	—	0,000	0,001	—	0,026	—	—	—
Mg	0,729	—	0,012	0,001	—	0,034	—	—	—
Ca	0,800	—	0,979	0,930	—	0,003	—	—	—
Na	0,018	—	0,056	0,062	—	0,0	—	—	—
Сумма	4,029	—	5,012	5,015	—	2,070	—	—	—
F	36,0	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. В качестве стандартов использованы природные минеральные фазы: гранат, диоксид, хромит, альбит, ортоклаз. Железо определено в виде FeO. Химические составы (содержания окислов в мас.%) рассчитаны на ЭВМ способом последовательных приближений. Структурные формулы пироксенов рассчитаны на основе 6 атомов кислорода, плагиоклаза — 8, магнетита — 4, ильменита — 3.

Минерал, компонент	Ортопироксены								Клинопироксены			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	50,933	51,113	51,603	52,294	51,747	49,990	50,678	51,737	54,017	51,439	51,504	50,684
TiO ₂	0,244	0,291	0,291	0,300	0,251	0,309	0,232	0,272	0,135	0,556	0,439	0,527
Al ₂ O ₃	0,591	0,534	0,629	0,426	0,423	1,183	0,403	0,501	1,017	1,303	1,123	1,614
Cr ₂ O ₃	0,064	0,029	0,000	0,010	0,0	0,0	0,0	0,019	0,634	0,010	0,0	0,010
FeO	29,250	23,022	22,759	22,761	28,031	23,502	27,554	22,770	2,891	11,906	11,934	11,619
MnO	1,351	1,439	1,470	1,389	2,157	1,234	2,088	1,440	0,108	0,720	0,898	0,773
MgO	16,908	21,700	21,696	21,673	16,199	20,301	16,611	21,697	18,472	14,515	14,430	14,491
CaO	1,563	1,695	1,695	1,637	1,781	1,398	1,781	1,686	22,181	19,361	19,750	19,616
Na ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,395	0,0	0,0	0,093	0,228	0,192	0,228
K ₂ O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Сумма	100,904	99,822	100,144	100,489	100,588	98,312	99,347	100,122	99,547	100,039	100,270	99,562
Si	1,961	1,938	1,945	1,960	1,991	1,930	1,976	1,950	1,968	1,939	1,940	1,922
Ti	0,007	0,008	0,008	0,008	0,007	0,009	0,007	0,008	0,004	0,016	0,012	0,015
Al ^{IV}	0,027	0,024	0,028	0,019	0,009	0,054	0,019	0,022	0,032	0,058	0,050	0,072
Al ^{VI}	—	—	—	—	0,010	—	—	—	0,012	—	—	—
Cr	0,002	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,001	0,018	0,0	0,0	0,0
Fe	0,942	0,730	0,717	0,713	0,902	0,759	0,898	0,718	0,088	0,375	0,376	0,368
Mn	0,044	0,046	0,047	0,044	0,070	0,040	0,069	0,046	0,003	0,023	0,029	0,025
Mg	0,970	1,226	1,219	1,211	0,929	1,169	0,965	1,219	1,003	0,816	0,810	0,819
Ca	0,065	0,069	0,068	0,066	0,073	0,058	0,074	0,068	0,866	0,782	0,797	0,797
Na	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,030	0,0	0,0	0,007	0,017	0,014	0,017
Сумма	4,018	4,042	4,033	4,022	3,992	4,049	4,008	4,031	4,001	4,025	4,029	4,035
F	49,3	37,3	37,0	37,0	49,3	39,4	48,2	37,1	8,1	31,5	31,7	31,0

* См. примечание к табл. 1.

колеблется от 8 до 30—35% (в моноклинных пироксенах), глиноземистость $\left(\frac{Al^{IV}}{Al^{IV} + Si}\right)$ меняется в 2—3 раза, содержание Cr₂O₃ варьирует от 0 до 0,5—0,6 вес. % (в моноклинных пироксенах), содержание Na₂O — от 0 до 0,7 вес. % (в ромбических пироксенах). Тем не менее сравнение химических составов пироксенов из пемзы обоих пунктов драгирования (станции 4 и 7) по средним содержаниям компонентов и их дисперсиям выявило высокую степень их сходства. Результаты сравнения средних кристаллохимических коэффициентов по *t*-критерию Стьюдента позволили сделать вывод о наличии значимых (5%) различий лишь для Mn и Na (в клинопироксенах). Значимо (5%) различные дисперсии выявлены при помощи *F*-критерия Фишера только для Ti, Al^{VI}, Ca и Fe в ортопироксенах; в моноклинных пироксенах дисперсии кристаллохимических коэффициентов практически одинаковы. Подобие составов пироксеновых вкрапленников, проявляющееся в небольших по численности выборках, повсеместное присутствие основного плагиоклаза, аналогия химических составов стекол и другие

данные говорят о минералого-геохимическом сходстве пемз, драгированных в районе исследования. Наиболее вероятной причиной этого является рассеивание легкого экструзивного материала из единого центра вулканической деятельности. Им может быть действующий вулкан или группа вулканов в пределах островной дуги Тонга, или подводный вулкан г. Осборна в районе работ.

Переменность составов пироксенов в породе свидетельствует о неравновесных соотношениях между дацитовым расплавом (стеклом) и вкрапленниками. Последние, по всей вероятности, имеют ксеногенную природу, попав в пемзу из более основных лав на эруптивной (эксплозивной) стадии.

Отсутствие зональности и заметно разные количества хрома в кристаллической решетке моноклинных пироксенов позволяют предположить, что росту фенокристов не сопутствовали явления концентрационного переохлаждения и изменение содержания примесей [3]. Это характерно для невысоких скоростей кристаллизации и охлаждения расплава в достаточно крупной магматической камере.

ские коэффициенты минералов. Станция 7*

		Плагио- клаз	Магнетиты			Стекло
13	14		15	16	17	
51,283	51,148	49,396	0,070	0,070	—	74,287
0,596	0,370	0,0	12,561	12,907	7,712	0,245
1,679	1,486	31,610	2,254	2,195	2,114	12,158
0,010	0,010	—	0,171	0,163	—	—
11,538	12,358	0,479	79,453	79,171	—	—
0,825	0,928	0,023	0,787	0,853	0,896	0,082
14,159	14,489	0,022	1,612	1,645	1,155	0,771
19,989	19,164	15,327	0,098	0,080	0,079	3,378
0,216	0,229	3,291	0,0	0,0	—	—
0,0	0,0	0,10	0,027	0,036	—	—
100,294	100,182	100,158	97,034	97,121	—	—
1,929	1,931	2,261	0,003	0,003	—	—
0,017	0,011	0,0	0,407	0,417	—	—
0,071	0,066	1,706	0,114	0,111	—	—
0,003	—	—	—	—	—	—
0,0	0,0	—	0,006	0,006	—	—
0,363	0,390	0,018	2,862	2,844	—	—
0,026	0,030	0,001	0,029	0,031	—	—
0,794	0,815	0,001	0,104	0,105	—	—
0,806	0,775	0,752	0,005	0,004	—	—
0,016	0,017	0,292	0,0	0,0	—	—
4,025	4,034	5,031	3,531	3,523	—	—
31,4	32,4	—	—	—	—	—

Если допустить, что средние составы ромбических и моноклиновых пироксенов (см. табл. 1 и 2) приближались к взаимному равновесию и соответствуют некоторым «средним» условиям кристаллизации их из основной (или средней) магмы, представляется возможным

Оценки температур образования пироксеновых фенокристов

Станция 4	Станция 7	Литерат. источник
1130—1220°C	1150—1220°C	[9, 10]
900—1060°C	980—1030°C	[8]
950—1080°C	1010—1050°C	[4]
850—1010°C	950—1000°C	[1]

применить «двупироксеновый геотермометр» для определения температуры образования фенокристов. Различные модификации этого термометра (табл. 3) дают температурные оценки (с учетом дисперсий) от 850 до 1220°C (станция 4) и от 950 до 1220°C (станция 7) или в среднем 1025—1050°C.

Считается [5], что дациты Тонга образовались путем фракционной кристаллизации из базальтовых андезитов при невысоком общем давлении. В то же время сравнительно низкая температура кристаллизации ромбического и моноклинового пироксенов из базальт-андезитового расплава и наличие среди вкрапленников основного плагиоклаза (по-видимому, равновесного с пироксенами) указывают на весьма высокое водное давление [11], которое, скорее всего, превышало 2 кбар [5, 6]. Именно последнее было причиной бурной взрывной деятельности из-за вскипания лавы по мере ее подъема к земной поверхности. Термоконвекция [2, 7], кипение расплава и взрывные явления, сопровождающие экструзии, очевидно, способствовали смешиванию вулканических продуктов, захвату дацитовой пемзой пироксеновых и плагиоклазовых кристаллов из андезито-базальтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фонарев В. И., Графчиков А. А. Двупироксеновый геотермометр.— Минералогический журнал, 1982, т. 4, № 5.
2. Черепанов А. Н., Шаранов В. Н., Кривенко А. П. Модель динамики неравновесной кристаллизационной дифференциации магм в базитовых плутонах.— Геол. и геофиз., 1983, № 3.
3. Шаранов В. Н., Исаенко Л. И. Динамика дифференциации базитовой магмы в камере.— В кн.: Проблемы дифференциации вещества в магматических и рудообразующих процессах. Новосибирск: Наука, 1977.
4. Яковлев Б. Г., Кравченко Г. Л., Степченко С. Б. Условия формирования пироксенов по данным исследования равновесного распределения магния и железа между сосуществующими орто- и клинопироксенами.— В кн.: Породообразующие пироксены Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1979.
5. Ewart A., Bryan W. B., Gill J. B. Mineralogy and geochemistry of the Younger volcanic Islands of Tonga, S. W. Pacific.— Journ. of petrol., 1973, v. 14, p. 3.
6. Kudo A. M., Weill D. F. An igneous plagioclase thermometer.— Contribution to Mineral. and petrology, 1970, v. 25, N 1.
7. McBirney A. Mixing and unmixing of magmas.— Journ. Volcan. and geothermal Res., 1980, v. 7, N 34.
8. Ross M., Huebner J. S. A pyroxene geothermometer based on composition— temperature relationships of naturally occurring orthopyroxene, pyroxene and augite.— In: Intern. Conf. Geotherm. Geobarom. Extended abstr. Pennsylvania state Univ., 1975.
9. Teruaki I. Pyroxene geothermometry of basalts and andesite from the Palau— Kyushu and West Mariana ridges. Deep sea drilling project Leg. 59.— In: Initial reports of the Deep Sea Drilling project, Nat. Sci. Foundation, 1981, v. 59.
10. Wood B. J., Banno S. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene— clinopyroxene relationships in simple and complex systems.— Contribution to Mineral. and petrol., 1973, v. 42, N 2.
11. Yoder H. S. Calcalkalic andesites: experimental data bearing on the origin of their assumed characteristics.— In: Proc. Andesite Conference, ed. by A. R. McBirney. State of Oregon, Dept. geol. mineral. ind. 1969, Bull. 65.