

УДК 552.11

ПЕТРОГРАФИЯ

Член-корреспондент АН СССР В. А. ЖАРИКОВ, И. П. ИВАНОВ, Ю. А. ЛИТВИН,
Р. А. ИШБУЛАТОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПЛАВЛЕНИЯ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНОЙ СЕРИИ ПРИ ДАВЛЕНИИ 45 КБАР

Ранее (1, 2) были проведены экспериментальные исследования плавления безводных стекол, отвечающих по составу толентовому базальту, андезиту, дациту и липариту при давлениях до 36 кбар. В настоящей статье сообщается о результатах изучения плавления безводных стекол андезитового, дацитового и липаритового составов при давлении 45 кбар и, в сопоставлении с данными наших экспериментов при давлении 35 кбар (2), рассмотрены особенности плавления изверженных пород щелочноземельной серии в интервале 35–45 кбар.

Исходными материалами служили те же образцы природных базальтов, андезитов, дацитов, липаритов и гранитов, что и в предыдущих исследованиях* (2). Порошки природных образцов (фракция <0,07 мм) для удаления воды и других летучих прокачивали в инертной атмосфере при 1100°С в течение часа, а перед использованием также просушивали при 110–125°. Составы безводных разновидностей пород, показанные в табл. 1, близки к средним типам соответствующих пород.

Таблица 1

Химический состав исследованных образцов (%)

Компонент						Компонент					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
SiO ₂	50,81	62,42	66,99	76,22	64,65	MgO	8,07	3,33	1,92	0,16	2,45
TiO ₂	0,99	0,72	0,57	0,06	0,60	CaO	9,76	4,92	3,42	0,75	4,59
Al ₂ O ₃	16,27	16,99	15,54	12,94	15,80	Na ₂ O	3,38	4,26	3,99	4,09	3,82
Fe ₂ O ₃	4,46	2,16	3,05	0,45	1,64	K ₂ O	1,81	1,94	3,36	4,82	3,73
FeO	3,72	2,99	0,82	0,45	2,46	P ₂ O ₅	0,60	0,20	0,32	0,03	0,13
MnO	0,13	0,07	0,02	0,03	0,10						

Примечание. Образцы из коллекции А. В. Гущина (Кавказ). 1 — базальт, р. Раздан; 2 — андезит, г. Казбеги; 3 — дацит, г. Эльбрус; 4 — липарит, вулкан Арteni; 5 — гранодиорит Тырны-ауз. Химические анализы выполнены в лаборатории силикатного анализа Киевского университета. Пересчитаны на 100% после удаления воды.

Опыты проводили в аппарате типа НЛ (наковальня с лункой) на твердосплавных наковальнях со сферическими углублениями (3). Ячейка представляет собой чечевицевидный контейнер из литографского камня с внутренней пирофиллитовой втулкой. В ячейке расположена внутренняя безградиентная графитовая печь сопротивления, внутри которой находится держатель образца из нитрида бора и капсула с исследуемым веществом. Точность определения давления и температуры ±1 кбар и ±5° до 50 кбар и 1600° (4). Температуру измеряли термопарой Pt₇₀Rh₃₀/Pt₉₄Rh₆ без введения поправок на влияние давления; регулировка — автомати-

* Авторы еще раз благодарят А. В. Гущина (Московский университет) за предоставленные образцы.

ческой системой с точностью $\pm 0,06\%$. В каждом опыте ячейку калибровали при комнатной температуре по переходам Vi_{I-II} (25,4 кбар), Vi_{II-III} (27,0 кбар), Ti_{II-III} (36,7 кбар). Путем одновременной калибровки аппарата по давлению двумя $Vi-Ti$ -датчиками, расположенными в разных точках ячейки, установлено, что равномерность распределения давления при комнатной температуре на границах капсулы с веществом находится в пределах 0,5 кбар. Процедура создания давления в опытах двухстадийная: подъем давления до 38 кбар — нагрев до температуры опыта — дожатие до 45 кбар. Экспериментально установлен оптимальный интервал дожатия 7 кбар (при 1200–1400°). Калибровка при высоких температурах была

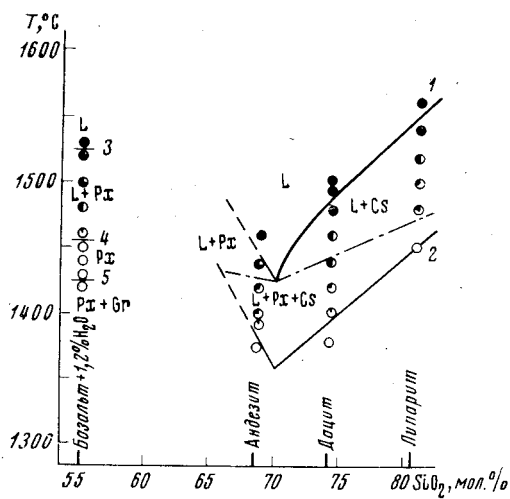


Рис. 1

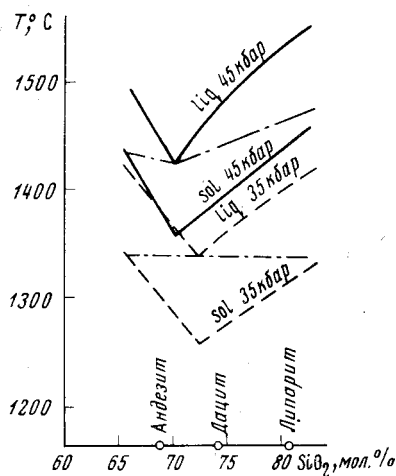


Рис. 2

Рис. 1. Положение кривых ликвидуса, солидуса и фазовые соотношения для изверженных пород щелочноземельной серии в координатах $T - SiO_2$ при давлении 45 кбар. Объяснение в тексте

Рис. 2. Сопоставление положений линий ликвидуса и солидуса пород щелочноземельной серии при давлении 35 и 45 кбар

осуществлена по равновесию кварц — коусит. Уравнение полученной кривой $P(\text{кбар}) = 22,5 + 0,010 T (^\circ\text{C})$. Сравнение с наиболее достоверной точкой Бойда и др. (5) при 1400° (37,5 кбар) показывает, что погрешность находится в пределах принятой нами точности измерения давления при высоких температурах.

Исследуемое вещество (~30 мг) помещали в герметически заваренные платиновые капсулы. Длительность опытов 20–60 мин. Продукты экспериментов изучали оптическими и рентгенографическими методами. Метод фокального экранирования оказался очень удобным для фиксации небольших количеств стекла при определении положения солидуса.

Результаты экспериментов при давлении 45 кбар представлены на диаграмме (рис. 1), на которой показаны: 1) зависимость фазового состава от температуры для сухих андезитовых, дацитовых и липаритовых составов; 2) кривые ликвидуса (1) и солидуса (2) этих пород, 3) ликвидус (3), солидус (4) и температура распада $Px \rightarrow Px + Ga$ (5) для базальтов с естественным (1, 2 вес.%) содержанием воды. Как можно видеть, наибольшими температурами ликвидуса и солидуса в исследованной серии характеризуется липарит ($T_{liq} = 1550^\circ$, $T_{sol} = 1450^\circ$). Почти во всем интервале субликвидуса из липаритового расплава кристаллизуется коусит, и лишь на солидусе к нему присоединяется пироксен. В субсолидусе в липаритах сохраняется нераскристаллизованным некоторое количество стекла. Опыты с гранитами (состав приведен в табл. 1) показали, что в условиях суб-

ликвидуса устойчив также калиевый полевой шпат, который не появляется при кристаллизации липаритов вследствие кинетических причин. Последовательность кристаллизации гранитов $L_{(T_{\text{лиq}} \approx 1600^\circ)} \rightarrow \text{Cs} + L_{(T=1480^\circ)} \rightarrow \text{Cs} + \text{Ksp} + L_{(T_{\text{сол}}=1400^\circ)} \rightarrow \text{Cs} + \text{Ksp} + \text{Px}$. Из расплава дацитового состава при $T=1485^\circ$ начинает кристаллизоваться коусит, с $T=1440^\circ$ вместе с ним кристаллизуется пироксен. Температура солидуса 1390° .

Расплав андезитового состава имеет меньшие температуры ликвидуса и солидуса ($T_{\text{лиq}}=1450^\circ$ и $T_{\text{сол}}=1385^\circ$) и обратный порядок кристаллизации: $L_{(T_{\text{лиq}} \approx 1450^\circ)} \rightarrow L + \text{Px}_{(T=1430^\circ)} \rightarrow L + \text{Px} + \text{Cs}_{(T_{\text{сол}}=1385^\circ)} \rightarrow \text{Px} + \text{Cs}$.

Сравнение температур плавления и фазовых соотношений в субликвидусе определенно указывает на то, что минимальные температуры плавления приходится на составы, промежуточные между исследованными составами андезита и дацита, ближе к составу андезита.

Составы андезита и дацита в области высокотемпературного субсолидуса представлены коуситом и пироксеном. Гранат в этих условиях не возникает, как показали специальные опыты с внесением затравок граната (они «растворились» в пироксене в ходе опытов). Эти данные указывают на значительную изоморфную емкость пироксена и свидетельствуют о принадлежности рассматриваемых составов к коусит-жадеит-пироксеновой части системы: $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O}-\text{CaO}-(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Эта часть системы представляет собой псевдотройную систему, в которой клинопироксен и жадеит образуют непрерывный твердый раствор с минимумом температуры плавления в области дацит-андезитовых составов.

Сопоставление данных по температурам плавления изверженных пород щелочноземельной серии при давлениях 35 (²) и 45 кбар произведено на рис. 2. Нетрудно видеть, что повышение давления (от 35 до 45 кбар) вызывает: а) увеличение температур ликвидуса и солидуса ($dT_{\text{лиq}}/dP = 6,5-13,5$ град/кбар, $dT_{\text{сол}}/dP = 2,5-12,5$ град/кбар); б) некоторое смещение (2,5 мол.%) минимума на кривых плавления в сторону андезитового состава; в) расширение поля кристаллизации липаритового состава и сужение поля кристаллизации андезитового состава. Смещение минимумов и изменение полей кристаллизации, несомненно, связаны с тем, что при 45 кбарах кремнезем кристаллизуется в виде коусита, имеющего большее dT/dP плавления по сравнению с кварцем.

Институт экспериментальной минералогии
Академии наук СССР
Черноголовка Московской обл.

Поступило
29 X 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Т. Х. Грин, А. Э. Рингвуд, В кн.: Петрология верхней мантии, М., 1968, стр. 118.
² В. А. Жариков, И. П. Иванов и др., ДАН, т. 249, № 2 (1974). ³ Л. Ф. Верещагин, Пат. Бельгии № 760788, 1971. ⁴ Ю. А. Литвин, Р. А. Ишбулатов, В сб.: IX Всесоюз. совещ. по экспериментальной и технической минералогии и петрографии (тез. докл.), Иркутск, 1973. ⁵ F. R. Boyd, P. M. Bell et al., Carnegie Inst. Wash. Year Book, v. 65, 110 (1967).