

УДК 550.41

ПЕТРОГРАФИЯ

М. И. ДУБРОВСКИЙ

ДИАГРАММА ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ГРАНИТНОЙ СИСТЕМЫ

 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ — $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ — KAlSi_3O_8 — SiO_2 — H_2O

И ЕЕ ПЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 24 I 1971)

Природные граниты в общем случае могут быть удовлетворительно охарактеризованы пятикомпонентной системой $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (AB) — $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (An) — KAlSi_3O_8 (Or) — SiO_2 (Q) — H_2O .

Экспериментальные данные по этой системе ограничены лишь исследованиями Г. фон Платена ⁽¹⁾, который показал, что эвтектические соотношения компонентов в системе Ab — Or — Q — H_2O значительно изменяются с добавлением аортита и что диаграмма Татла и Боуэна ⁽²⁾ отражает частный случай, редко реализующийся в природе. Поэтому, используя имеющиеся экспериментальные данные по частным «гранитным» системам ^(2—7) и применив термодинамические расчеты для «сухих» систем, не изученных экспериментально, автор построил упрощенную диаграмму фазового равновесия вышеуказанной системы (см. рис. 2). Для уяснения принципа ее построения на рис. 1 представлена схематическая диаграмма фазовых взаимоотношений в данной системе при $P = 1$ атм. Подобная диаграмма при $P_{\text{H}_2\text{O}} = 2000$ бар рассмотрена Винклером ⁽⁸⁾, — следовательно, нет необходимости детального ее разбора. На рис. 1 добавлено сечение, соответствующее плагиоклазу № 20, для лучшего понимания особенностей условно тройной котектики $M_{\text{Ab}}^3 — E_5^3$ (условно потому, что плагиоклаз, как и Na — K-полевой шпат, принимаются нами за один компонент). Эта котектика представляет собой геометрическое место тройных точек с определенным номером плагиоклаза (от альбита до аортита). Ее положение в пространстве в большой степени зависит от положения «начальных» точек: M_{Ab}^3 — тройной минимум в системе Ab — Or — Q и E_5^3 — тройная эвтектика в системе An — Or — Q. Положение этих точек, в свою очередь, зависит от положения двойных эвтектик и Ab — Or-минимума, определенных при различных значениях $P_{\text{H}_2\text{O}}$ и $P_{\text{cых}}$ экспериментально ^(2—7) или термодинамическими расчетами автора. Установленные Татлом и Боуэном ⁽²⁾ положения точки M_{Ab}^3 с изменением $P_{\text{H}_2\text{O}}$ нужно признать довольно приблизительными, так как при определении соотношений полевых шпатов в «тройном» (фактически двойном: Na — K-полевой шпат и SiO_2) минимуме применялся грубый способ по $29_{(201)}$. Более правильно определены ими положения кварц-полевошпатовых котектик, которые нами и использовались при построении диаграммы.

Из-за сложности графического изображения (и чтения) полной диаграммы состояния пятикомпонентной системы предлагается свести ее до четырех-, а для сухой системы — до трехкомпонентной, приняв плагиоклаз (твердый раствор An и Ab) за один компонент. Графически это достигается совмещением грани An — Q — Or тетраэдра Ab — An — Or — Q (рис. 1) с гранью Ab — Q — Or. Затем уже строится упрощенная диаграмма фазового равновесия системы Pl — Or — Q — H_2O (рис. 2) для давлений $P_{\text{H}_2\text{O}}$ от 0 до 10 000 бар и $P_{\text{cых}}$ от 1 до 10 000 бар, т. е. охватывающая условия образования гранитных магм на всю глубину земной коры. Чтобы не загружать диаграмму, проекции двойных и тройных котектик проведены через

определенные интервалы давлений и составов плагиоклаза, а также не показано поле лейцита.

Увеличение $P_{\text{сух}}$ от 1 до 100 бар незначительно перемещает котектику к кварцевой вершине и в область низких температур ($\Delta T_{\text{SiO}_2} = 1\%$, $\Delta T = -10^\circ$, рис. 3). При $P_{\text{сух}} = 100$ бар наступает экстремум в соотношении компонентов, но кроме того наступает и температурный экстремум. Дальнейшее увеличение $P_{\text{сух}}$ перемещает котектику к полевшпатовой стороне треугольника и в область высоких температур.

Полученная таким образом поверхность является четырехфазовой (+ пар, или флюид H_2O , при $P_{H_2O} = P_{\text{общ}}$) равновесной котектической по-

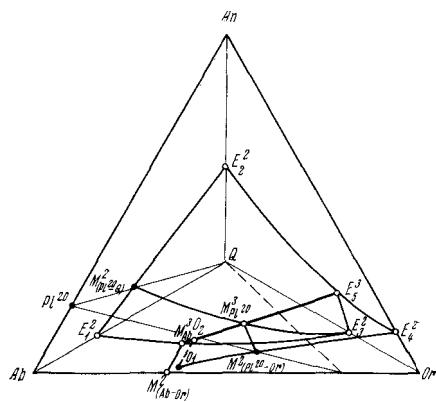


Рис. 1. Диаграмма фазового равновесия системы $\text{Ab} - \text{An} - \text{Or} - \text{Q} - \text{H}_2\text{O}$ при $P = 1$ атм. E_1^2 и $M_{(\text{pl}^{20}-\text{Or})}^2$ — двойные эвтектики и минимумы с соответствующим плагиоклазом; E_3^3 и $M_{\text{pl}^{20}}^3$ — тройные эвтектики и минимумы с соответствующим плагиоклазом

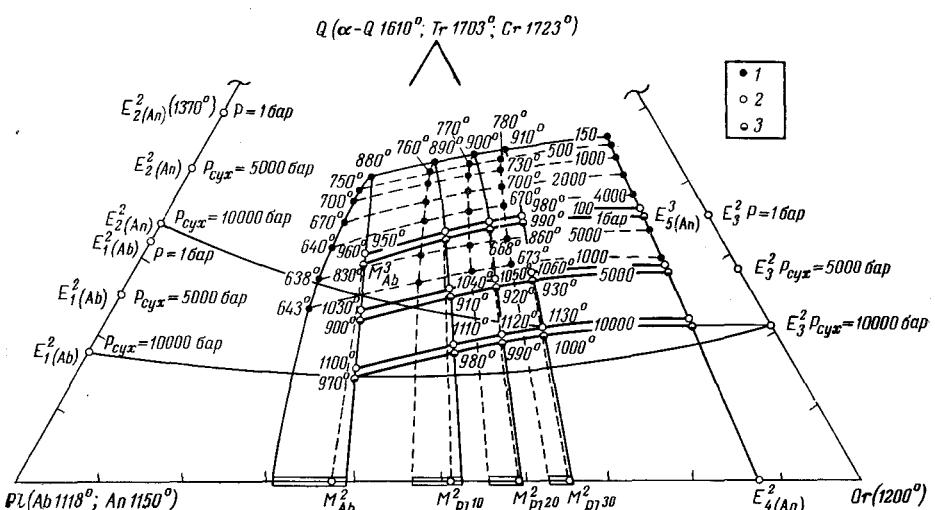


Рис. 2. Приближенно-упрощенная диаграмма фазового равновесия системы $\text{Pb} - \text{Or} - \text{Q} - \text{H}_2\text{O}$. 1 — фигуративные точки при $P_{\text{общ}} = P_{\text{н.о.}}$; 2 — фигуративные точки при $P_{\text{общ}} = P_{\text{сух}}$ с учетом данных Татла и Боузна (2); 3 — фигуративные точки при $P_{\text{общ}} = P_{\text{сух}}$ с учетом данных Грейга, Шефферда и Мервина (2)

верхностью для двух крайних случаев: для сухой системы при $P_{\text{общ}} = P_{\text{сух}}$ и для системы с полным насыщением водой при $P_{\text{общ}} = P_{\text{H}_2\text{O}}$. Промежуточные условия описываются пространством, ограниченным этой поверхностью.

Возможен и второй вариант положения котектической поверхности при $P_{\text{общ}} = P_{\text{сух}}$, в котором учитываются данные Грэйга, Шеффера и Мервиша⁽²⁾ по плавлению природных гранитов.

Применение диаграммы и соответствующих сечений (типа, представленного на рис. 3), которые легко строятся из данных диаграммы, поможет в решении ряда частных петрологических задач.

Кроме того, анализ предлагаемой диаграммы позволяет высказать некоторые общетеоретические положения «гранитной» петрологии:

1. Граниты в широком диапазоне составов могут быть «гранит-минимумами» или в привычной (но неправильной) терминологии — «эвтектическими» гранитами.

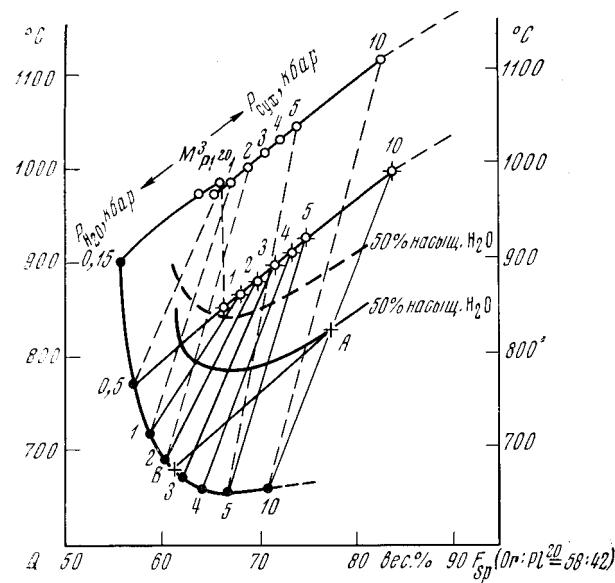


Рис. 3. Котектическое сечение $Q - M_p^2$ к диаграмме рис. 2

2. Максимальное общее давление, при котором в равновесной жидкой фазе присутствует минимальное ($\approx 20\%$) количество «свободной» SiO_2 , не должно превышать 12—15 кбар, т. е. гранитные расплавы могут появляться только в пределах земной коры.

3. При $P = \text{const}$ и увеличении температуры будут образовываться расплавы с большим содержанием калия (ортоклаза) и более высоким An / Ab-отношением. Содержание SiO_2 при этом будет увеличиваться незначительно. Обогащение расплава калием (ортоклазом) будет происходить и при An / Ab = const (выше плагиоклаза № 10) с увеличением давления.

4. При одном и том же общем давлении расплавы, более насыщенные водой, должны содержать больше SiO_2 .

5. Гранитные магмы, насыщенные водой, могут генерироваться при $P_{\text{общ}} = P_{\text{H}_2\text{O}} = 1500—10\,000$ бар в узком интервале низкой температуры: 630—690°. Такие условия легко достигаются в амфиболитовой фации метаморфизма.

6. «Сухие» гранитные магмы могут генерироваться при любом давлении, которое достигается в земной коре, но при этом требуется более высокая температура: 850—1000°.

Очевидно, что в природе реализуются также и промежуточные условия. Поэтому имеет смысл выделять, кроме того, магмы, недосыщенные водой. По механизму генерации различаются гранитные магмы, образованные путем плавления пород, сходных по составу с гранитами (анатектические), и гранитные магмы — дифференциаты более основной магмы. Механизм генерации и степень насыщенности магмы водой обуславливаются главным образом глубиной (давлением), или фациями (зонами) глубинности генерации гранитных магм. Вполне обоснованно можно выде-

лить: гипабиссальную (малоглубинную), мезоабиссальную (среднеглубинную) и абиссальную (глубинную) фации. Границы между ними определяются геотермическим градиентом, который в орогенических областях достигает 50—100 град/км, и минимальными температурами плавления «мокрой» ($\approx 640^\circ$) и «сухой» ($\approx 850^\circ$) магм. Отсюда нижняя граница гипабиссальной зоны (верхняя мезоабиссальной) может колебаться от 6,5 до 12,5 км, а верхняя граница абиссальной (нижняя мезоабиссальной) от 9 до 17 км.

В связи с выделением фаций глубинности генерации магм уточняются условия образования того или иного типа магм. «Сухие» и недосыщенные водой магмы образуются плавлением гранитоидных пород в абиссальной фации и могут интрудировать до любых горизонтов земной коры в зависимости от «энергосодержания» магмы и тектонической обстановки, т. е. фации глубинности становления пород за счет таких магм могут изменяться от абиссальных до поверхностных. Насыщенные водой магмы образуются также плавлением гранитоидных пород, но в мезоабиссальных условиях и, по всей вероятности, не могут интрудировать в верхние зоны, так как они имеют низкую температуру и потеря летучих в процессе интрузии немедленно приведет к кристаллизации магмы.

В гипабиссальной фации гранитные магмы образуются только путем дифференциации более основной, потому что здесь температура не достигает значений, достаточных для плавления гранитоидных пород. По насыщенности водой такие магмы могут быть различными — от «сухих» до насыщенных, — а условия становления комплексов пород за счет них могут изменяться от гипабиссальных до поверхностных.

Геологический институт
Кольского филиала им. С. М. Кирова
Академии наук СССР
Апатиты

Поступило
30 X 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. фон Платен, В сборн. Природа метаморфизма, 1967. ² О. Ф. Tuttle, N. L. Bowen, Geol. Soc. Am. Mem., **74** (1958). ³ H. R. Shaw, Am. Mineral., **48**, 883 (1963). ⁴ D. W. Stewart, Schweiz. mineral. und petogr. Mitt., **47**, N. 1 (1967). ⁵ J. B. Lambert, I. K. Robertson, P. I. Wyllie, Am. J. Sci., **267**, № 5, 609 (1969). ⁶ W. C. Luth, Am. J. Sci., **267-A** Schairer vol., 325 (1969). ⁷ Х. С. Йодер, Д. Б. Стюарт, Д. Р. Смит, В сборн. Вопр. теоретической и экспериментальной петрологии, ИЛ, 1963. ⁸ Г. Винклер, Генезис метаморфических пород, М., 1969. ⁹ G. C. Kennedy, G. J. Wasserburg et al., Am. Sci., **260**, № 7, 501 (1962). ¹⁰ А. А. Кадик, Н. И. Хитаров, Геохимия, № 10, 886 (1963). ¹¹ Е. Б. Лебедев, Н. И. Хитаров, Геохимия, № 3, 195 (1964).