

УДК 552+549.903.11

ПЕТРОГРАФИЯ

Академик В. С. СОБОЛЕВ

О ЗАКОНОМЕРНОМ УМЕНЬШЕНИИ ПОЛЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ «ЛЕГКИХ» МИНЕРАЛОВ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ДАВЛЕНИЯ

В простых бинарных системах повышение давления нередко приводит не только к изменению эвтектической температуры, но и к сдвигу эвтектической точки по составу. В первую очередь такой сдвиг может быть связан с различием в наклоне кривых плавления в краевых однокомпонентных системах (рис. 1). Особенно резкий сдвиг будет заметен в том случае, когда одна из однокомпонентных систем в этом отношении оказывается аномальной, т. е. твердая фаза легче жидкой и наклон кривой плавления отрицателен (рис. 2). К этому типу, в частности, относятся водные растворы солей⁽³⁾. Для силикатов примером здесь может служить система $Zn_2SiO_4 - Co_2SiO_4$ ⁽⁷⁾, в которой виллемит обладает указанным свойством подобно воде и висмуту. Диаграмма этой системы осложнена наличием двух серий твердых растворов, которые иллюстрируют влияние давления на изоморфизм в том случае, когда крайние члены серии отличаются координацией катионов⁽⁴⁾. При повышении давления от 1 атм. до 30 кбар состав твердых растворов $CoSiO_4$ (с шестерной координацией катиона) расширяется от состава 20 % Zn_2SiO_4 до 60 % Zn_2SiO_4 , а твердые растворы Zn_2SiO_4 (с четырьмя координацией катиона) сокращаются от 55 до 15 % Co_2SiO_4 .

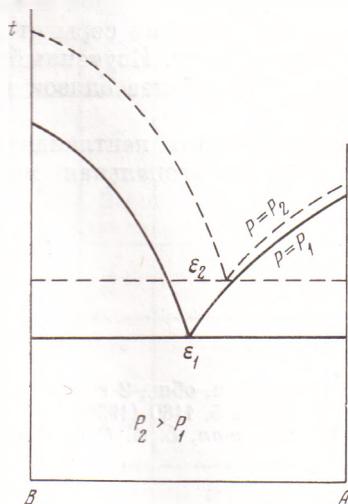


Рис. 1

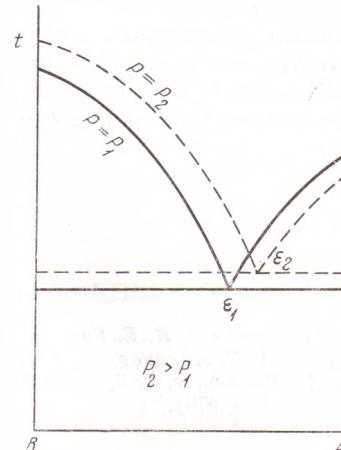


Рис. 2

Сдвиг эвтектической точки для двойных систем приблизительно можно рассчитать, пользуясь дифференциальным уравнением ван-Лаара⁽³⁾. Направление сдвига в этом уравнении определяется членом $(\Delta V_1/\Delta Q_1 - \Delta V_2/\Delta Q_2)$. Эти выражения входят в уравнение Клаузиса — Клапейрона, определяющее наклон кривых плавления однокомпонентных систем. Таким образом, сдвиг эвтектической точки определяется относительной вели-

чиной разности $\Delta t_1 - \Delta t_2$, т. е. изменением температуры плавления отдельных компонентов, что и иллюстрируется приведенными выше диаграммами.

Исходя из сказанного, можно поставить задачу ориентировочного определения сдвига эвтектической точки в системах важнейших породообразующих силикатов, исходя из некоторых общих их свойств, определяющих ΔV и наклон кривых температур плавления.

Для многих веществ (2, 5) установлено, что тройной точке полиморфного превращения менее плотной модификации в более плотную предшествует отчетливо выраженный максимум на кривой плавления. Диаграмма плавления для серы (2) приведена на рис. 3. Таким образом, уплотнение структуры жидкой фазы как бы предшествует полиморфному превращению, приводя к аномальному отрицательному наклону кривой плавкости. Правда, такой максимум может и отсутствовать (5), но в этом случае вблизи точки перехода происходит значительное уменьшение наклона кривой плавления. Меньшая величина ΔV при кристаллизации и соответственно меньший наклон кривых плавления характеризуют фазы с малоплотной структурой уже при обычных давлениях.

Отсюда можно сделать следующее заключение. В двухкомпонентной системе, в которой один из компонентов кристаллизуется в виде фазы плотной структуры, а другой компонент характеризуется фазой малоплотной структуры, которая при возрастании давления переходит в более плотную модификацию, в области, предшествующей полиморфному переходу, должен происходить сдвиг эвтектической точки в сторону малоплотного компонента. Очевидно, что это правило распространяется и на системы с большим числом компонентов, в частности также на те случаи двухкомпонентных систем, где вместо полиморфного превращения происходит распад одной из фаз с уплотнением структуры, т. е. система на определенном участке перестает быть двухкомпонентной. В этом случае общий вывод можно сформулировать следующим образом.

При кристаллизации расплава в системах из двух и более компонентов, в которых образующиеся твердые фазы значительно различаются плотностью структуры, при увеличении давления сокращается поле кристаллизации малоплотных («легких») фаз, претерпевающих затем превращения (полиморфные или с распадом) с повышением плотности.

Для породообразующих минералов это правило должно хорошо иллюстрироваться в системах, где совместно участвуют фемические (тяжелые) и салические (легкие) минералы. Такая закономерность уже была отмечена для частных случаев, отвечающих системе диопсид — аортит (9), а также для более сложной псевдотрехкомпонентной системы плагиоклаз An_{60} — диопсид — энстатит (6). Интересно отметить, что для случая аортит — диопсид (8) подобное же смещение эвтектической точки с увеличением давления установлено впервые для систем с водой. Однако здесь главной причиной такого смещения является большее понижение точки плавления аортита в присутствии избытка воды по сравнению с диопсидом. Для указанных систем уже отмечалось значение такого изменения поля кристаллизации плагиоклаза для трактовки образования аортозитов. Мagma, получающаяся в результате эвтектического плавления на значительной глубине, поднимаясь в область более низких давлений, попадает в поле плагиоклаза, который будет первым кристаллизующимся

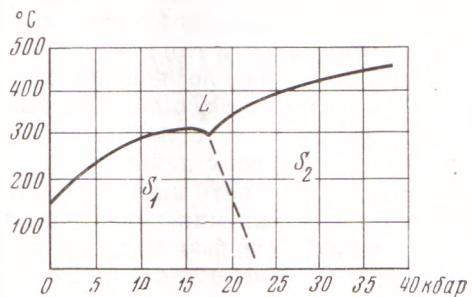


Рис. 3

минералом. Таким образом, образование высокоглиноzemистых базальтов будет связано с большой глубиной плавления. В случае накопления пластика при кристаллизационной дифференциации (по-видимому, путем всплытия) должны получаться аортозиты. Последние снова находятся в центре внимания петрологов в связи с проблемой образования аортозитовой коры на Луне. Однако давление при образовании магмы не должно превосходить величины 15–20 кбар, так как при более высоких давлениях появляется гранат, и тип диаграммы изменится.

Указанное правило должно хорошо проявляться также для систем, в которых параду с фемическими минералами участвует лейцит. В системе лейцит — диопсид с увеличением давления эвтектическая точка должна сдвигаться в сторону лейцита, что при понижении давления (поднятия расплава) объясняет раннюю кристаллизацию лейцита в горных породах.

Из фемических минералов указанное правило, по-видимому, относится к оливину. Хотя форстерит претерпевает полиморфное превращение при давлениях более 100 кбар, наклон кривой плавления здесь значительно меньше, чем у широксенов⁽¹⁾, и при увеличении давления поле кристаллизации оливина должно уменьшаться. Это хорошо согласуется с ранней кристаллизацией оливина при подъеме магмы — при понижении давления.

Выше отмечено, что в системе диопсид — аортит большой сдвиг эвтектической точки в том же направлении имеет место в системе с водой. Для салических минералов это тоже будет общим правилом, так как понижение температуры кристаллизации в системах с H_2O здесь значительно больше, чем для минералов фемических⁽¹⁾. Таким образом, сделанный вывод относится не только к сухим системам, но и к системам с водой.

Применение указанного простого правила для ряда систем, еще не изученных в области высоких давлений, может помочь петрографу при рассмотрении процессов образования магм и кристаллизации горных пород.

В заключение автор выражает сердечную благодарность В. А. Киркинскому и В. В. Ревердатто за полезные советы при обсуждении данной проблемы.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения
Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
10 XII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Л. Добрецов и др., Фации метаморфизма, М., 1970. ² И. Е. Пауков и др., В сборн. Работы по физике твердого тела, в. 1, Новосибирск, 1967. ³ И. Пригожин, Р. Дефей, Химическая термодинамика, Новосибирск, 1966. ⁴ В. С. Соболев, ДАН, т. 160, № 2 (1965). ⁵ С. М. Стишов, УФН, т. 96, 3 (1968). ⁶ R. F. Emslie, Carnegie Inst. Year Book, № 69, 1971, р. 148. ⁷ L. A. Taylor, P. M. Bell, A. Muan, ibid., v. 69 (1970). ⁸ H. S. Yoder jr., ibid., v. 53 (1954). ⁹ H. S. Yoder jr., ibid., v. 64 (1965).