

А. А. КАДИК, О. А. ЛУКАНИН, Е. Б. ЛЕБЕДЕВ,
Э. Е. КОРОВУШКИНА

РАСТВОРИМОСТЬ ВОДЫ И УГЛЕКИСЛОТЫ В МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВАХ КИСЛОГО И ОСНОВНОГО СОСТАВА

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 11 IV 1972)

Эксперименты по влиянию CO_2 на плавление гранита ⁽¹⁾ и базальта ⁽²⁾ позволили предположить, что растворимость углекислоты в магмах основного и кислого состава должна быть значительно меньше растворимости воды. Проверка данного предположения представляется весьма важной, поскольку это принципиальное различие должно определять ряд важных закономерностей в поведении воды и CO_2 при зарождении магм и их дальнейшей эволюции.

Совместная растворимость воды и CO_2 в расплавах гранитного и базальтового составов была изучена при давлении 1000 и 3000 атм. и температуре 1200°. Эксперименты проводились ампульным методом на установке высокого давления с внутренним нагревом ⁽³⁾. Введение необходимого количества CO_2 в капсулу и заполнение ее смесью воды и CO_2 в определенной пропорции осуществлялось двумя методами: 1) с использованием щавелевой кислоты ⁽⁴⁾; 2) путем непосредственного намораживания CO_2 в капсулу.

Опыты проводились в платиновых ампулах, хорошо провищаемых для водорода при высоких температурах. Средой, передающей давление на ампулу, служила вода, которая являлась одновременно буфером, поддерживающим достаточно высокое парциальное давление кислорода, 10^{-4} атм., необходимое, чтобы разложение щавелевой кислоты шло с образованием воды и CO_2 . Результаты параллельных опытов — с введенным CO_2 через щавелевую кислоту и путем намораживания — оказались идентичными.

В качестве исходных материалов использовались стекла, полученные при плавлении эльзбуртинского гранита (Северный Кавказ) и базальта Апачончич (Камчатка), химические составы которых приведены в ⁽³⁾.

Состав пара, а также содержание воды и CO_2 в расплаве при заданных T и P опыта определялись по составу продуктов закалки соответствующих фаз. Продуктом закалки расплава являлось стекло, содержащее в случае базальта небольшое количество закалочных кристаллов. Паровая фаза после закалки распадалась на: 1) твердую фазу, представляющую собой конденсат силикатных компонентов, растворенных в паре, — количество ее было пренебрежимо мало; 2) жидкую фазу, состоящую в основном из воды; 3) газовую фазу, состоящую в основном из CO_2 .

Содержание углекислоты в продуктах конденсации пара определялось путем потери веса при прокаливании ампулы и удалении газа; содержание воды — по потере веса вскрытой капсулы после ее просушивания при 105°. Кроме того, на специальной установке определялось количество H_2O и CO_2 в стеклах путем поглощения выделяющихся воды и CO_2 при прокаливании образца до 1200° ⁽⁴⁾.

Баланс между количеством воды и CO_2 , определенным в продуктах закалки, и исходным количеством летучих являлся контролем анализа. Отклонения обычно не превышали 1 вес. %.

На рис. 1 показано изменение концентрации воды в расплаве базальта и гранита в зависимости от соотношения CO_2 и H_2O в паре.

С увеличением парциального давления CO_2 при постоянном общем давлении растворимость CO_2 в расплавах увеличивается.

Растворимость CO_2 в расплаве базальтового состава несколько выше, чем в расплаве гранита, однако это различие несущественно и ближе к ошибке определения. Экстраполяция полученных данных к условиям, когда $P_{\text{CO}_2} = P_{\text{общ}}$, дает следующие значения растворимости CO_2 в расплавах кислого и основного состава: при $P_{\text{CO}_2} = 1000$ атм. 0,25–0,35 вес.%; при $P_{\text{CO}_2} = 3000$ атм. 0,5–0,6 вес. %.

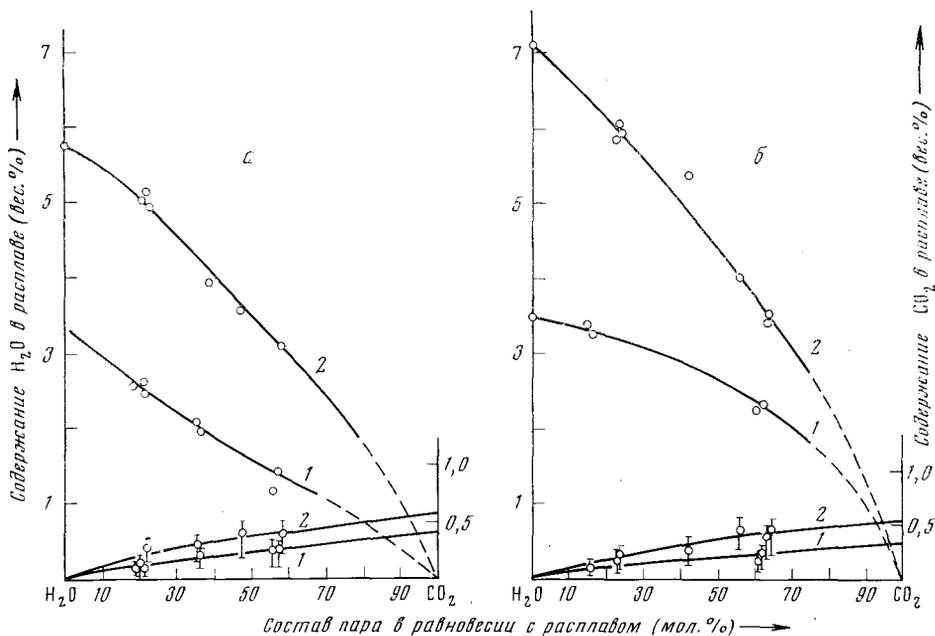


Рис. 1. Растворимость воды и углекислоты в расплаве базальта (а) и гранита (б) при температуре 1200° и общем давлении 1000 (1) и 3000 (2) атм. в зависимости от количества (парциальных давлений) воды и углекислоты в равновесной паровой фазе

Увеличение доли CO_2 в паре одновременно вызывает уменьшение концентрации воды в расплаве. При этом наблюдается общая закономерность как для базальта, так и для гранита: начиная с некоторого значения P_{CO_2} уменьшение растворимости H_2O становится более значительным.

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают предположение о весьма малой растворимости CO_2 в силикатных расплавах кислого и основного состава, по крайней мере при высоких температурах. При давлениях до 3000–5000 атм. растворимость CO_2 приблизительно на порядок меньше, чем воды, и составляет 0,1–0,6 вес.%, в то время как концентрация воды может достигать при этих давлениях 6–8 вес.%. Это должно определять ряд неизбежных закономерностей в истории воды и углекислоты при эволюции магм, которые сводятся к следующему:

1. При взаимодействии магматических расплавов с флюидом окружающей среды в области зарождения магм или при их движении к поверхности Земли флюид внешней среды будет обогащаться CO_2 , а расплав — H_2O .

2. По мере понижения общего давления состав паровой фазы, отделяющейся от магмы, должен характеризоваться уменьшением содержания CO_2 в паре.

3. Концентрация углекислоты в магме должна оказывать большое влияние на условия отделения флюидов от магм.

Последнее обусловлено тем, что давление к расплаву малорастворимого компонента CO_2 приводит к значительному увеличению давления паров магмы, тем самым создавая условия для отделения флюидов от магм при высоких давлениях. Например, если магматический расплав основного состава содержит 1,5 вес. % H_2O , то его кипение начнется при 250 атм. ($\sim 0,7$ км по глубине). При наличии в расплаве, кроме этого количества воды, около 0,25 вес. % CO_2 кипение должно начаться при более высоком давлении, 1200 атм. (3,5 км); при этом первые порции пара будут обогащены углекислотой почти в 9 раз по сравнению с расплавом ($\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ в расплаве ~ 6 , $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ в паре $\sim 0,66$). При наличии в расплаве 0,5 вес. % CO_2 кипение должно начаться при ~ 3000 атм. (~ 10 км), а первые порции пара будут обогащены углекислотой по сравнению с расплавом в ~ 12 раз. ($\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ в расплаве ~ 3 , $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ в паре $\sim 0,25$).

Таким образом, наличие CO_2 приводит к кипению, а следовательно, к частичной дегидратации магм уже на значительных глубинах даже при небольших концентрациях воды. Полученные соотношения позволяют считать, что основные магмы при достижении глубин, соответствующих коре на континентах, неспособны сохранить в своем составе большие концентрации воды.

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского
Академии наук СССР
Москва

Поступило
19 III 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ P. J. Wyllie, O. F. Tuttle, Am. J. Sci., 257, № 9, 648 (1959). ² J. R. Holloway, C. W. Burnham, Petrol., (in press). ³ А. А. Кадик, Е. Б. Лебедев, Н. И. Хитаров, Воды в магматических расплавах, «Наука», 1971. ⁴ J. R. Holloway, C. W. Burnham, J. Milhollen, Geophys. Res., 73, 6598 (1968).