

Экспериментальное исследование влияния концентрации растворенной воды на диффузионную подвижность H_2O в расплавах дацита при высоких давлениях

Э. С. Персиков¹, П. Г. Бухтияров¹, S. Newman²

¹Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка

²Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США

persikov@iem.ac.ru

На основе новой методологии определены коэффициенты диффузии воды и установлена функциональная зависимость диффузии воды $D(H_2O)$ от ее содержания $C(H_2O)$ в модельных дацитовых расплавах ($Ab90Di8Wo2$, мол. %) в широком диапазоне валового содержания воды в расплаве 0.2–6.0 масс. %, $T = 1200^\circ C$ и давление H_2O до 160 МПа. Строго экспериментально установлена экспоненциальная зависимость коэффициента диффузии воды от $C(H_2O)$ в модельных расплавах дацита при указанных параметрах.

Ключевые слова: диффузия, вода, концентрационная зависимость, расплав, температура, давление, дацит, модель, ИК спектроскопия

Ссылка: Персиков, Э. С., П. Г. Бухтияров, S. Newman (2012), Экспериментальное исследование температурной зависимости диффузии воды в расплавах дацита. *Вестник ОНЗ РАН*, 4, NZ9001, doi:10.2205/2012NZ_ASEMPG.

Экспериментальные исследования предыдущих лет не решили сложной проблемы зависимости коэффициента диффузии воды $D(H_2O)$ от ее концентрации $C(H_2O)$ в силикатных и магматических расплавах, в том числе, в полимеризованных расплавах альбита, обсидиана, гранита, риолита и дацита [Shaw, 1974; Nowak, Behrens, 1997; Zhang, Behrens, 2000 и др.]. Необходимо отметить, что все предыдущие исследования диффузии воды в силикатных и магматических расплавах, включая и наши исследования [Persikov et al., 2010], не обеспечивали строго экспериментального определения этой зависимости. В работе [Persikov et al., 2010] было показано, что при применении этой стандартной методологии не существует объективных математических или физико-химических критериев для обоснованного доказательства получаемых зависимостей $D(H_2O)$ от $C(H_2O)$ в полном диапазоне диффузионных концентрационных профилей.

В этой связи, нами разработана принципиально новая методология, которая теоретически строго обоснована [Персиков и др., 2010; Persikov et al., 2010]. Сущность ее кратко заключается в том, что диффузионные опыты проводятся в условиях низких градиентов концентраций воды, не более 0.5–1.0 мас. %, независимо от валового содержания воды в расплавах. При этом для каждого состава расплава проводится порядка 5–7 таких опытов при разных средних значениях $C(H_2O)$ в расплавах. В результате получаем строго экспериментально обоснованные зависимости $D(H_2O)$ от $C(H_2O)$, которые не зависят от выбора граничных условий и способов решения уравнений диффузии.

С использованием этой мало градиентной методологии проведено экспериментальное исследование функциональной зависимости диффузии воды от ее содержания в модельных дацитовых расплавах (система альбит + диопсид + волластонит, $Ab90Di8Wo2$, мол. %) в широком диапазоне валового содержания воды 0.2–6.0 масс. %, давлениях H_2O до 160 МПа и температуре $1200^\circ C$. Эксперименты проводили на установке высокого газового давления с использованием оригинального уравнителя-разделителя, который позволял проводить диффузионные опыты без изменения первоначальной геометрии ампулы. Диффузию воды изучали методом гидратации в двух типах опытов: 1) гидратация гомогенного безводного модельного расплава дацита при давлениях H_2O 20 МПа и $T = 1200^\circ C$. Этот метод детально описан в нашей недавней работе [Persikov et al., 2010]; 2) гидратация водосодержащих расплавов при давлениях H_2O до 160 МПа. Второй тип опытов включал 3 стадии: 1) в течение 3-х часов осуществляли диффузионное насыщение расплава водой при температуре $1200^\circ C$ и необходимом значении $P(H_2O)$, например 50 МПа, и далее, за несколько секунд поднимали давление пара до 70 МПа; 2.) выдерживали необходимое для диффузии воды время; 3) после чего проводили изобарическую закалку расплава со скоростью $\approx 300^\circ C/мин$ до температуры

900°C, и далее со скоростью $\approx 100^\circ\text{C}/\text{мин}$ до комнатной температуры. Концентрацию воды вдоль диффузионных профилей в образцах (закаленных расплавах) определяли с помощью количественной микро ИК спектроскопии с использованием соотношения Beer-Lambert, а значения коэффициентов диффузии воды определяли путем аналитического решения уравнений диффузии [Crank, 1975]. Полученные результаты представлены на рисунке 1. Их анализ однозначно свидетельствует, что в пределах экспериментальных ошибок зависимость $D(\text{H}_2\text{O})$ от $C(\text{H}_2\text{O})$ в относительно полимеризованных дацитовых расплавах является экспоненциальной (уравнение представлено на Рис. 1), тогда как в работе [Zhang, Behrens, 2000] утверждается, что $D(\text{H}_2\text{O})$ прямо пропорционален $C(\text{H}_2\text{O})$ в дацитовых расплавах при тех же значениях $C(\text{H}_2\text{O})$ до 6-ти масс. %. На диаграмме представлена также прогнозная зависимость $D(\text{H}_2\text{O})$ от $C(\text{H}_2\text{O})$ в дацитовых расплавах, которая получена с использованием новой структурно-химической модели расчетов и прогнозов диффузионной подвижности воды в магматических расплавах [Персиков, Бухтияров, 2009; Persikov et al., 2010].

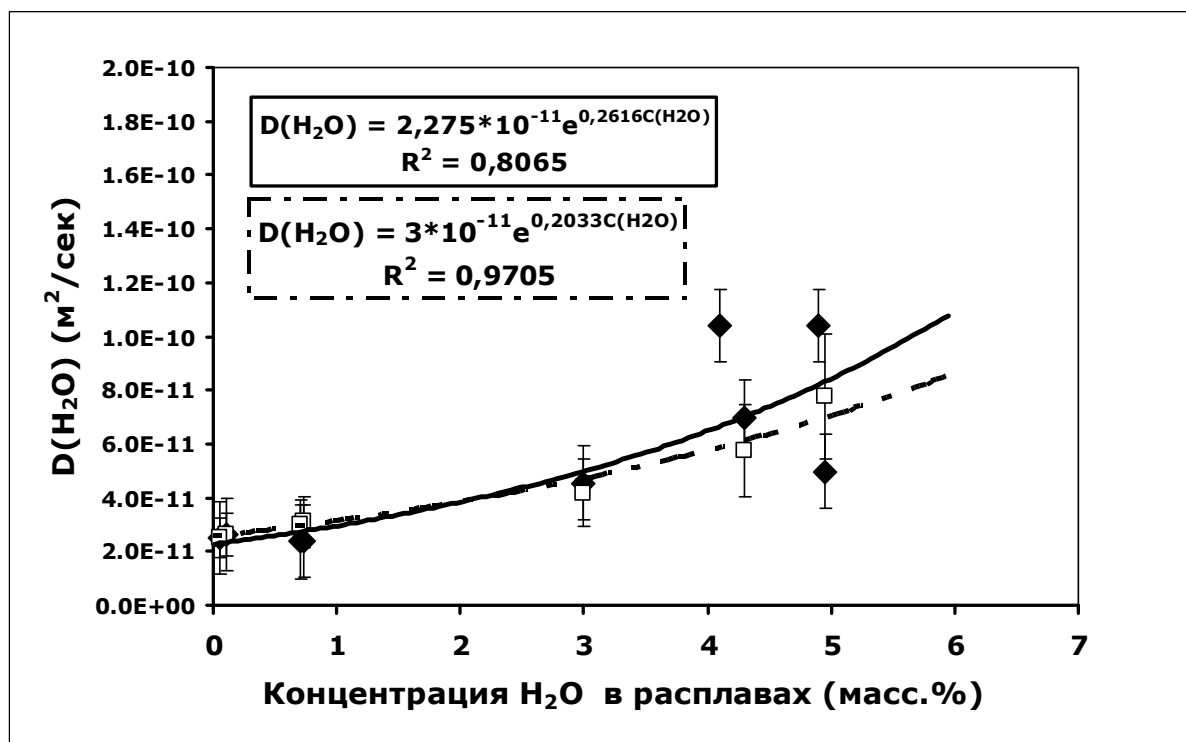


Рис. 1. Зависимость $D(\text{H}_2\text{O})$ от содержания воды в модельных дацитовых расплавах при $T = 1200^\circ\text{C}$ и $P(\text{H}_2\text{O})$ до 160 МПа (эксперимент – залитые значки, сплошная кривая и соответствующее уравнение, прогноз – открытые значки, штрих – пунктирная кривая и соответствующее уравнение)

Очевидно, что в пределах неопределенности экспериментальных (± 30 отн. %) и прогнозных (± 35 отн. %) данных, полученные зависимости $D(\text{H}_2\text{O})$ от $C(\text{H}_2\text{O})$ практически совпадают, что дополнительно свидетельствует о правомерности использования упомянутой модели [Persikov et al., 2010] для расчетов и прогноза диффузионной подвижности воды в магматических расплавах.

Авторы признательны Edward Stolper (Caltech, USA) за ценные советы и дискуссии. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 12-05-0016) и программы 9 ОНЗ РАН.

Литература

- Shaw, H. R. (1974). Diffusion of H_2O in granitic liquids; Part I. Experimental data; Part II, Mass transfer in magma chambers, in: Hofmann, A.W., et al. (Eds.), *Geochemical Transport and Kinetics*, 634, Carnegie Institute Washington Publ., Washington, pp. 139–170.
- Nowak, M., H. Behrens (1997). An experimental investigation on diffusion of water in haplogranitic melts, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 126, pp. 365–376.

Zhang, Y., Behrens, H. (2000). H₂O diffusion in rhyolitic melts and glasses, *Chem. Geol.*, 169, pp. 243–262.

Персиков, Э. С., П. Г. Бухтияров, А. Н. Некрасов (2010). Диффузия воды в расплавах андезита и базальта при высоких давлениях, *Геохимия*, № 3, с. 3–15.

Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press, Oxford, 414 p.

Persikov, E.S., S. Newman, P. G. Bukhtiyarov, A. N. Nekrasov, E. M. Stolper. (2010). Experimental study of water diffusion in haplobasaltic and haploandesitic melts, *Chemical Geology*, vol. 276, pp. 241–256.

Персиков, Э.С., П. Г. Бухтияров (2009). Структурно-химическая модель прогноза и расчетов вязкости магм и диффузии H₂O в них в широком диапазоне составов и Т,Р-параметров земной коры и верхней мантии, *Геология и Геофизика*, № 12, т. 50, стр. 1389–1404.