

Взаимосвязь диффузии петрогенных (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , FeO , TiO_2) и летучих (H_2O) компонентов и вязкости расплавов системы обсидиан–дацит–андезит–базальт– H_2O (экспериментально-теоретическое исследование)

Э. С. Персиков., П. Г. Бухтияров, Н. А. Некрасов
Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка
persikov@iem.ac.ru, факс: 8 (496) 524 9687, тел.: 8 (496) 524 9687

Ключевые слова: диффузия, вязкость, андезит, базальт, расплав, петрогенные и летучие компоненты

Ссылка: Персиков, Э.С., П. Г. Бухтияров, Н. А. Некрасов (2011), Взаимосвязь диффузии петрогенных (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , FeO , TiO_2) и летучих (H_2O) компонентов и вязкости расплавов системы обсидиан–дацит–андезит–базальт– H_2O (экспериментально-теоретическое исследование), *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ6076, doi:10.2205/2011NZ000206.

Исследования химической встречной диффузии петрогенных компонентов при взаимодействии магматических расплавов крайне ограничены [Watson and Baker, 1991; Watson, 1994; Yoder, 1973; Baker, 1991]. В данном сообщении представлены результаты экспериментальных исследований химической встречной диффузии петрогенных компонентов (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , FeO , TiO_2) в процессе взаимодействия модельных расплавов системы андезит–базальт–вода и системы модельный андезит – высокоглиноземистый природный базальт–вода. Исследования проведены с помощью оригинальной установки высокого газового давления при давлениях воды 25 - 160 МПа, давлениях аргона до 160 МПа и температуре $T = 1300^\circ\text{C}$, с использованием метода диффузионных пар.

Три типа диффузионных пар использованы в экспериментах длительностью 480–1500 сек: а) безводные модельные стекла андезитового ($\text{Ab}_{75}\text{Di}_{25}$, мол. %) и базальтового ($\text{Ab}_{50}\text{Di}_{50}$, мол. %) составов вводились в контакт и плавилась в заваренной платиновой ампуле при давлении аргона, равном 160 МПа; б) те же стекла с равным содержанием растворенной воды в диффузионных парах (1.0; 2.1; 4.3 и 5.6 мас. %) также вводились в контакт и плавилась в заваренных платиновых ампулах при давлении аргона, равном 160 МПа; в) водосодержащие расплавы системы $\text{Ab}_{75}\text{Di}_{25}$ + природный высокоглиноземистый базальт, с содержанием растворенной воды 1.0 масс. %, также вводились в контакт и плавилась в заваренных платиновых ампулах при давлении аргона, равном 25 МПа.

Содержание воды в водосодержащих образцах и вдоль диффузионных профилей определены с помощью количественной микро ИК-спектроскопии, а распределение петрогенных компонентов вдоль диффузионных профилей измерены на микрозонде (см. рис. 1).

Коэффициенты встречной диффузии (D) петрогенных компонентов (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , FeO , TiO_2) в исследованных расплавах определены путем численного решения уравнений диффузии, с использованием функции ошибок Гаусса. Полученные результаты представлены на рис. 2. Анализ этих данных позволяет сделать следующие выводы:

Скорости встречной диффузии всех петрогенных компонентов, с концентрацией воды 2 - 3 мас. % в андезитовых и базальтовых расплавах, увеличиваются примерно на порядок величины по сравнению с безводными расплавами. Однако влияние растворенной воды на коэффициенты встречной диффузии всех петрогенных компонентов значительно уменьшается с дальнейшим ростом ее концентрации в таких расплавах.

Скорости химической встречной диффузии всех петрогенных компонентов (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , FeO , TiO_2) практически идентичны при взаимодействии безводных андезитовых и базальтовых расплавов. При этом скорость диффузии катионов-сеткообразователей (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2) примерно на два порядка величины выше по сравнению с их трассерной диффузией. Напротив, скорость диффузии катионов-модификаторов (Na_2O , CaO , MgO , FeO) меньше примерно на один порядок величины по сравнению с их трассерной диффузией.

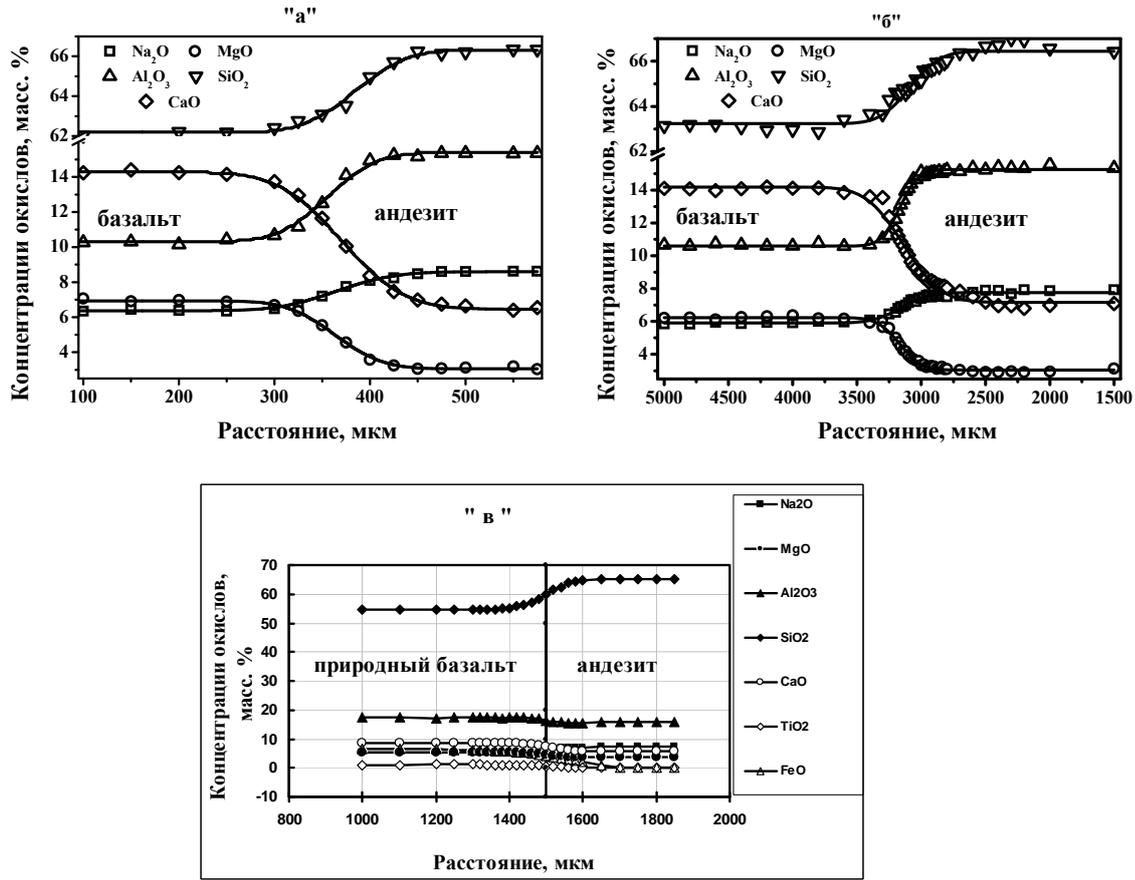


Рис. 1. Диффузионные профили петрогенных компонентов в расплавах системы базальт-андезит-вода при $T = 1300^{\circ}\text{C}$ и 100 МПа общего давления (кривые на диаграммах – аппроксимация экспериментальных данных функцией ошибок Гаусса)

а – безводные модельные расплавы, опыт 1641/1, время диффузии 480 сек; б – водосодержащие модельные расплавы, опыт 1664/1, время диффузии 1320 сек, содержание растворенной воды 4.3 масс.%; в – водосодержащие расплавы системы $\text{Ab}_{75}\text{Di}_{25}$ + природный базальт, опыт 1665/1, время диффузии 1320сек, содержание растворенной воды 1.0 масс. %, вертикальная линия – граница двух расплавов или граница Матано)

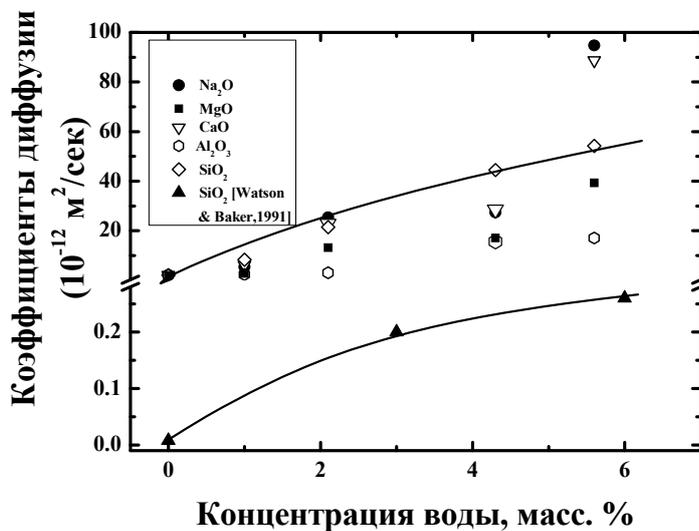


Рис. 2. Зависимости коэффициентов встречной химической диффузии петрогенных компонентов (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO) от концентрации воды при взаимодействии модельных базальтовых и андезитовых расплаво ($T = 1300^{\circ}\text{C}$, давления водяного пара до 160 МПа) в сравнении с аналогичной зависимостью для SiO_2 из работы [Watson and Baker, 1991] при взаимодействии дацит-риолитовых расплавов. ($T = 1300^{\circ}\text{C}$, давление водяного пара до 200МПа)

Такое поведение может свидетельствовать о минальном механизме встречной химической диффузии, т.е. о встречной диффузии с равными скоростями молекул альбита и диоксида в противоположных направлениях при взаимодействии безводных андезитовых и базальтовых расплавов. При растворении воды в этих расплавах механизм диффузии кардинально меняется, т.к. все петрогенные компоненты диффундируют с разными скоростями, свидетельствуя о деполимеризации расплавов, как результат растворения воды в них. Очевиден аналогичный характер установленной зависимости по сравнению с результатами работы [Watson and Baker, 1991], а различия в абсолютных значениях коэффициентов диффузии SiO₂ легко объяснимы различной степенью деполимеризации и, следовательно, различной вязкостью расплавов в системе андезит-базальт (настоящая работа) по сравнению с системой дацит-риолит в работе [Watson and Baker, 1991].

Ранее, используя традиционную высоко градиентную методологию, нами были получены экспериментальные данные по диффузии воды в модельных андезитовых и базальтовых расплавах и выявлены недостатки традиционной методологии изучения диффузии воды в силикатных расплавах [Persikov et. all, 2010; Персиков и др., 2010]. В настоящее время, на основе мало градиентной методологии, получены новые достоверные экспериментальные данные по диффузионной подвижности воды в магматических расплавах в ряду обсидиан–дацит–андезит–базальт в широких диапазонах концентраций H₂O (0.1–6 мас. %), температуры (700–1300°C) и давления водяного пара до 200 МПа.

Теоретический анализ полученных данных по диффузии петрогенных компонентов, а также воды в расплавах в ряду андезит-базальт и их вязкости, позволил установить закономерную взаимосвязь двух важнейших транспортных свойств магм. Эта взаимосвязь качественно согласуется с законом Стокса-Энштейна и соотношением Эйринга об обратно пропорциональной зависимости между вязкостью жидкости и диффузией компонентов в ней (рис.3).

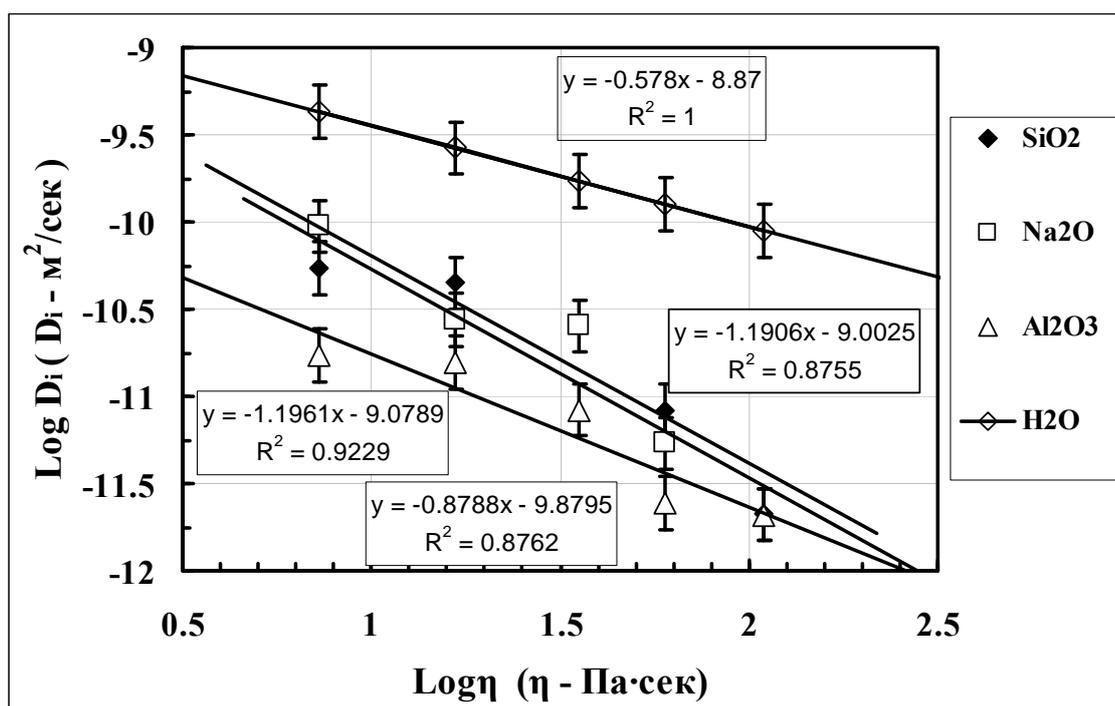


Рис. 3. Взаимосвязь диффузионной подвижности некоторых компонентов (SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, H₂O) и вязкости расплавов в системе андезит–базальт–H₂O (P(H₂O) до 160 МПа, T = 1300°C, диапазон концентраций воды в расплавах 0.0–5.6 масс. %)

Вязкость расплавов вдоль диффузионных профилей определялась с достаточной точностью с использованием структурно-химической модели Персикова [Персиков, 1998; Персиков и Бухтияров, 2009]. Установлено также, что при сопоставимых значениях T, P-параметров и составов расплавов диффузионная подвижность H₂O на порядок величины превышает диффузионную подвижность всех петрогенных компонентов, включая щелочи (см. рис. 3).

ПЕРСИКОВ И БУХТИЯРОВ: СИСТЕМА ОБСИДИАН–ДАЦИТ–АНДЕЗИТ–БАЗАЛЬТ–H₂O

Авторы признательны S. Newman (Caltech, USA) за помощь в определении содержаний воды в расплавах с помощью ИК – спектроскопии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00417) и программы № 8 ОНЗ РАН.

Литература

Baker, D. R. (1991), Interdiffusion of hydrous dacitic and rhyolitic melts and the efficacy of rhyolite contamination of dacitic enclaves, *Contrib Mineral Petrol.*, v. 106, pp. 462–473.

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*, v. 276, pp. 241–256.

Watson, E. B. (1994), Diffusion in volatile-bearing magmas, *Volatiles in magmas. Reviews in Mineralogy. Eds. Carrol M.R., Holloway J.R.,/ Miner. Soc. Amer.*, v. 30, pp. 371–411.

Watson, E.B., D. R. Baker (1991), Chemical diffusion in magma: An overview of experimental results and geochemical applications, *Physical chemistry in magma. Advances in physical geochemistry. Eds. Perchuk L.L., Kushiro I., Springer-Verlag.* v. 9, pp. 120–151.

Yoder, H. S. (1973), Contemporaneous basaltic and rhyolitic magmas, *Am. Mineral.*, v. 58, pp. 153–171.

Персиков, Э. С. (1998), Вязкость модельных и магматических расплавов при Т, Р–параметрах земной коры и верхней мантии, *Геология и геофизика*, т. 39, № 12, сс. 1798–1804.

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*, т. 50, № 12, сс. 1389–1404.

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.