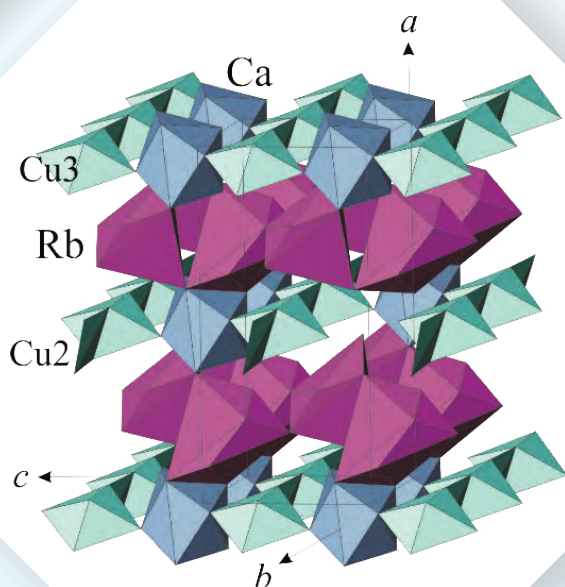
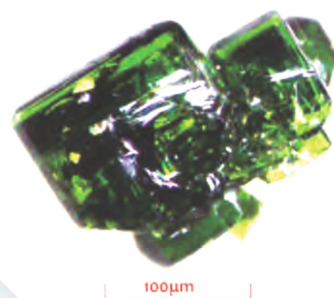


**ТРУДЫ  
ВСЕРОССИЙСКОГО  
ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА  
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
МИНЕРАЛОГИИ,  
ПЕТРОЛОГИИ  
И ГЕОХИМИИ  
(ВЕСЭМПГ-2018)**



**Москва, 18–19 апреля 2018 г.**

УДК 552.111

# РАСТВОРИМОСТЬ ВОДЫ В ГРАНИТНЫХ ГЛУБОКО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ВЫСОКОФТОРИСТЫХ РАСПЛАВАХ

Алферьева Я.О., Щекина Т.И., Граменицкий Е.Н., Русак А.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва (YanaAlf@ya.ru)

## SOLUBILITY OF WATER IN GRANITE HIGHLY EVOLVED HIGH-FLUORINE MELTS

Alferyeva Ya.O., Shchekina T.I., Gramenitsky E.N., Rusak A.A.

Lomonosov Moscow State University, Department of Geology, Moscow (YanaAlf@ya.ru)

**Abstract.** The water content in model granite high-fluorine experimental glasses was determined by Raman spectrometry. In glasses with molar ratio  $(\text{Na} + \text{K}) / \text{Al} \approx 1$  obtained at  $T = 800^\circ \text{C}$  and  $p = 1 \text{ kbar}$  under saturation conditions in the aluminofluoride phases, the water content can reach 7,4 wt.%.

*Keywords:* water solubility, highly evolved granite melt

Добавление фтора в стандартную модельную гаплогранитную систему приводит к увеличению растворимости воды в расплаве. По данным Ф. Хольтца и др. (Holtz et al., 2001), С.В. Бернема (Burnham, 1975), растворимость воды в кварцнормативном силикатном расплаве при  $800^\circ \text{C}$  и 100 МПа без фтора составляет 3–4 мас.%. Она возрастает примерно на 0,5 мас.% на каждый добавленный процент фтора (Webster et al., 1998). Согласно работе (Holtz et al., 1993) при содержании в расплаве 4 мас.% фтора растворимость воды достигает почти 5 мас.%.

Нами были проведены эксперименты, позволяющие оценить растворимость воды в силикатном гаплогранитном расплаве, насыщенном высокофтористыми фазами (топазом, криолитом, алюмофторидным расплавом) и содержащем до 14 мас.% фтора. Эксперименты проводились при  $T=800^\circ \text{C}$ ,  $P=100 \text{ МПа}$  и исходном количестве воды в системе 4 и 10 мас.%.

Точность поддержания давления составляла  $\pm 3 \text{ МПа}$ , температуры  $\pm 5^\circ \text{C}$ . Для каждой ампулы выполнен контроль массы до и после проведения опыта. Эксперимент признавался удачным, если расхождение массы не превышало 0,001 г. В качестве исходных веществ для опытов использовали реактивы  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NaAlO}_2$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{LiF}$ , гелевую смесь  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , дистиллированную воду.

Содержание воды в алюмосиликатных стеклах определяли в центре геологических исследований г. Потсдам (Германия) методом рамановской спектроскопии. Рамановские спектры записывались при помощи спектрометра «Jobin-Yvon LabRam HR800», оснащенного оптическим микроскопом «Olimpus» с длиннофокусным объективом «LMPlanFI 100x». Излучение создавалось  $\text{Ar}^+$  лазером с длиной волн 514 и 488 нм. Каждый спектр снимали 11 раз, с продолжительностью накопления не менее 20 сек. В качестве опорного стандарта использовалось стекло с известным содержанием воды 8.06 мас.%. Расчет количества воды в стеклах проводил докт. Р. Томас по методу, описанному в работах (Thomas et al., 2000; Thomas, Davidson, 2006).

Полученные образцы состоят из кварцнормативного алюмосиликатного стекла, продуктов закалки алюмофторидного расплава, иногда кварца, топаза и литийсодержащей разновидности криолита — симмонсита (Граменицкий и др., 1993; Алферьева и др., 2011).

Серии экспериментов на диаграмме содержания фтора и воды в алюмосиликатных стеклах  $\text{C}_F^L - \text{C}_{\text{H}_2\text{O}}^L$  (рис. 1) образуют две группы точек. Одна, характеризующая составы силикатных стекол с исходным 10%-ным содержанием воды, лежит почти на продолжении тренда, полученного в работе Ф. Хольтца (Holtz et al., 1993). Возможно, в этих опытах при параметрах эксперимента было достигнуто насыщение по водному флюиду и реализовалось равновесие алюмосиликатный (L) расплав + алюмофторидный (LF) расплав или криолит (Cry) + водный флюид (fl). Для этих точек прослеживается прямая корреляция между количеством воды и фтора в силикатном стекле. Содержание воды в алюмосиликатном расплаве в условиях равновесия его с фторидными фазами (алюмофторидным расплавом, криолитом) в модельной гранитной системе при  $800^\circ \text{C}$  и 100 МПа достигает 5,5 мас.% при количестве фтора в расплаве 12 мас.% и 7,4 мас.% при количестве фтора 14,6 мас.% (Алферьева и др., 2018).

Вторая группа экспериментов с исходным содержанием воды 4% лежит существенно ниже тренда, полученного в работе Ф. Хольтца. Для этой группы не выявлена корреляция между

количеством воды и фтора в алюмосиликатном стекле. По всей видимости, небольшое количество воды не позволило обособиться флюиду в собственную фазу, и вся вода была растворена в силикатном расплаве.

Увеличение содержания фтора в силикатном расплаве вплоть до образования высокофтористых фаз приводит к увеличению растворимости воды в силикатном расплаве. С другой стороны, как показано на рисунке 1, насыщение по алюмофторидным фазам силикатного расплава в относительно сухих условиях происходит раньше (при меньших содержаниях фтора), чем в богатых водой системах.

По данным (Baker, Alletti, 2012), важным фактором, влияющим на растворимость воды в расплаве, является давление. При 800°C давление 100 МПа соответствует растворимости воды в кислом силикатном расплаве 4–5 мас.%. 6 мас.% воды растворяется при давлении 200 МПа (Baker, Alletti, 2012). Согласно нашим данным в насыщенных алюмофторидами условиях кислый силикатный расплав с содержанием 6 мас.% воды может образовываться при относительно низком давлении (100 МПа) и температуре 800°C.

Увеличение содержания фтора в силикатном расплаве в результате процесса кристаллизационной дифференциации лимитировано появлением богатых фтором фаз. Вплоть до образования таких высокофтористых фаз происходит его накопление как некогерентного компонента и, следовательно, вплоть до этого момента возможно увеличение растворимости воды в природных расплавах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-05-0089).*

## Литература

- Алферьева Я.О., Граменицкий Е.Н., Щекина Т.И. Экспериментальное изучение фазовых отношений в литийсодержащей богатой фтором гаплогранитной и нефелин-сиенитовой системе // Геохимия. 2011. № 7. С. 713–728.
- Алферьева Я.О., Щекина Т.И., Граменицкий Е.Н., Предельное содержание фтора и воды в гранитных высоко эволюционированных расплавах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 3. С. 70-76.
- Граменицкий Е.Н., Щекина Т.И. Фазовые отношения в ликвидусной части гранитной системы с фтором // Геохимия. 1993. № 6. С. 821–840.
- Baker D.R., Alletti M. Fluid saturation and volatile partitioning between melts and hydrous fluids in crustal magmatic systems: The contribution of experimental measurements and solubility models // Earth. Sci. Rev. 2012. Vol. 114. P. 298–324.
- Burnham C.W. Water and magmas; a mixing model // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1975. Vol. 39, N 8. P. 1077–1084.
- Holtz F., Dingwell D.B., Behrens H. Effects of F, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on the solubility of water in haplogranite melts compared to natural silicate melts // Contrib. Mineral. Petrol. 1993. Vol. 113, N 4. P. 492–501.
- Holtz F., Johannes W., Tamic N., Behrens H. Maximum and minimum water contents of granitic melts generated in the crust: a reevaluation and implications // Lithos. 2001. Vol. 56, N 1. P. 1–14.
- Thomas R. Determination of water contents of granite melt inclusions by confocal laser Raman microprobe spectroscopy // Amer. Mineral. 2000. Vol. 85. P. 868–872.
- Thomas R., Davidson P. Progress in the determination of water in glasses and melt inclusions with Raman spectroscopy: A short review // Z. Geol. Wiss Berlin. 2006. Vol. 34. P. 159–163.
- Webster J.D., Rebbert C.R. Experimental investigation of H<sub>2</sub>O and Cl — solubilities in F-enriched silicate liquids; implications for volatile saturation of topaz rhyolite magmas // Contrib. Mineral. Petrol. 1998. Vol. 132, N 2. P. 198–207.