

**Минеральные равновесия в системе  $K_2O(Li_2O)-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  с участием топаза: экспериментальные данные при  $T=400^\circ C$  и  $P=100$  МПа**

Ю. Б. Шаповалов, Т. В. Сеткова  
Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка  
[shap@iem.ac.ru](mailto:shap@iem.ac.ru)

*Ключевые слова:* топаз, слюды, минеральные равновесия, грейзены.

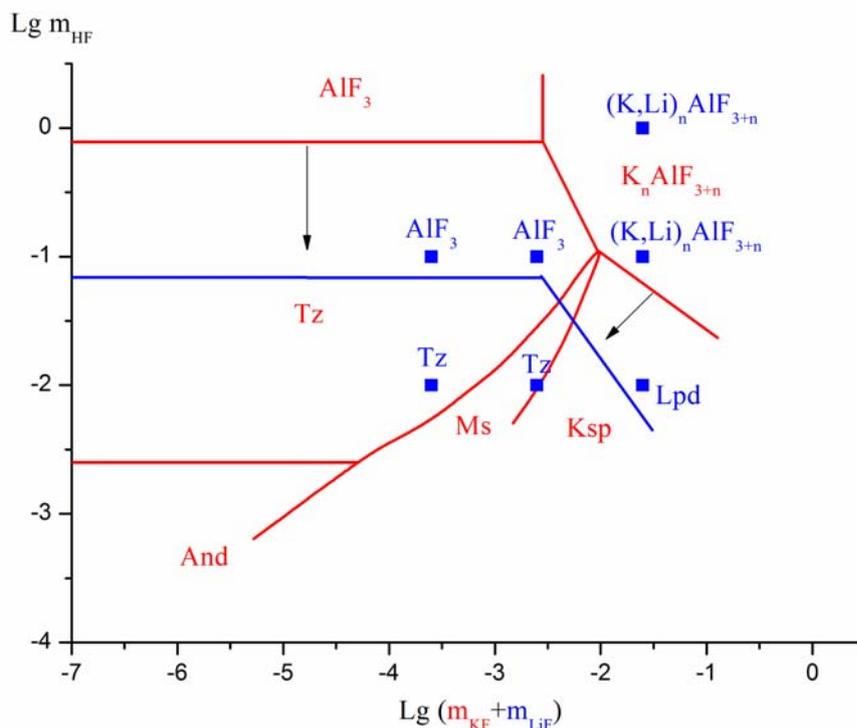
**Ссылка:** Шаповалов, Ю. Б., Т. В. Сеткова (2011), Минеральные равновесия в системе  $K_2O(Li_2O)-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  с участием топаза: экспериментальные данные при  $T=400^\circ C$  и  $P=100$  МПа, *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ6098, doi:10.2205/2011NZ000228.

Одними из распространенных метасоматических горных пород являются грейзены. Эти породы имеют большую практическую ценность, так как с ними ассоциируют руды олова, вольфрама, бериллия, молибдена, ниобия, тантала [Беус и Диков, 1967], [Пундквист, 1971], [Mutschler, 1981]. Наиболее характерной особенностью, принципиально отличающей грейзены от других высокотемпературных метасоматических образований, является то, что они образуются под воздействием фторсодержащих растворов, что находит отражение в устойчивости фторидных минералов в грейзеновых минеральных парагенезисах. В представленной работе проведено экспериментальное исследование минеральных равновесий с участием топаза (одного из главных индикаторных F-содержащих минералов) в системе  $K_2O(Li_2O)-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  при наиболее характерных для грейзенового процесса температуре  $400^\circ C$  и давлении 100 МПа с целью получения количественной оценки состава раствора (в частности содержания лития) для решения вопросов генезиса грейзеновых месторождений. Изучение минеральных равновесий в рассмотренной системе при указанных параметрах минералообразования экспериментально ранее не проводилось за исключением работ, посвященных изучению фазовых равновесий в системах гранит- $H_2O-HF$  и гранит- $H_2O-KF$  в высокотемпературной области [Глюк и Анфилогов, 1973], [Коваленко, 1977]. Топология калиевой системы в связи с парагенезисами грейзеновых месторождений рассмотрена Д. Бертом [Burt, 1981]. Им построены схематические диаграммы фазовых равновесий в координатах химических потенциалов HF и KF, с использованием которых экспериментально были изучены минеральные равновесия в модельной системе  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  в интервале температур  $300-600^\circ C$ , при давлении 100 МПа [Шаповалов, 1988]. В настоящее время существует достаточное количество работ посвященных теоретическому и экспериментальному изучению систем  $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  и  $CaO-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  [Dolejs and Baker, 2004], [Dolejs and Baker, 2007], однако значительный интерес представляет экспериментальное моделирование литий и калий содержащих систем, поскольку в них образуются минеральные ассоциации топаза с полевыми шпатами и слюдами (лепидолитом или мусковитом).

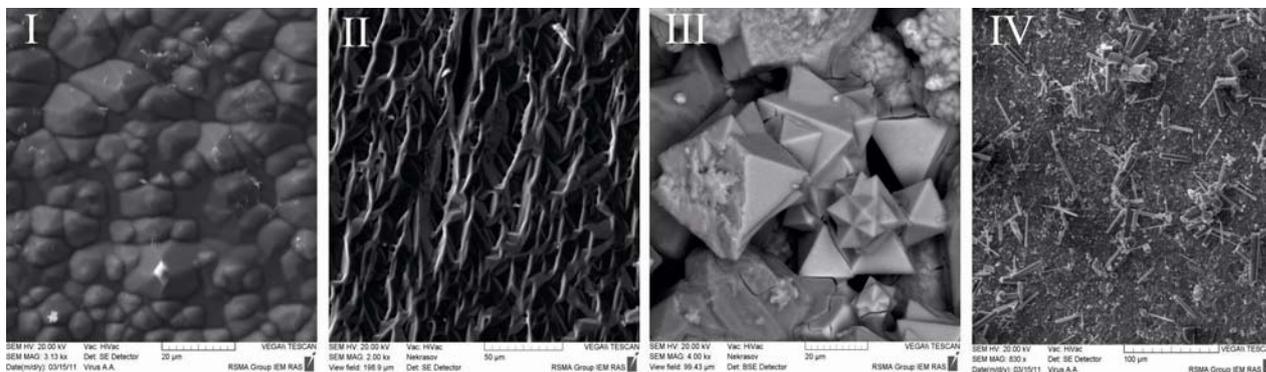
Эксперименты осуществлялись в автоклавах с использованием вкладышей с золотой футеровкой и самоуплотняющимся затвором. Для определения положения равновесия использовался метод моновариантных ассоциаций, основанный на изменении массы зерна топаза. Во вкладыши помещались все минеральные фазы, участвующие в реакции. Топаз в виде окатанного зерна, а другие компоненты реакций вводились в измельченном состоянии. Давление задавалось действующим раствором, количество которого определялось соответствующим коэффициентом заполнения. Весовые изменения зерна топаза после опытов и новообразованные фазы показывали направление сдвига реакции. Продукты опытов изучались с помощью рентгенофазового и микронзондового анализов.

В результате было установлено влияние лития на смещение поля стабильности топаза установленного ранее [Шаповалов, 1988] для модельной системы  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  (рис.1). Линия моновариантного равновесия топаз- $AlF_3$ , ограничивающие поле топаза, перемещается вниз по оси ординат при низких концентрация LiF высоких концентрациях HF в растворе. При достаточно высоких концентрациях LiF и низких концентрациях HF в растворе поля стабильности мусковита и  $K_nAlF_{3+n}$  сменяются полями лепидолита (Рис. 2II) и  $(K,Li)_nAlF_{3+n}$  (рис.2III) соответственно.

Отсутствие калия в растворе приводит к образованию литийсодержащей алюмофторидной фазы (рис. 2IV).



**Рис. 1.** Обобщенная диаграмма, показывающая смещение поля стабильности топаза установленного ранее [Шаповалов, 1988] для модельной системы  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-HF-H_2O$  (линии красного цвета) в зависимости от содержания LiF в растворе (линии синего цвета), при  $T=400^\circ C$  и  $P=100$  МПа, кварц в избытке. Обозначения: **Tz** – топаз, **And** – андалузит, **Ms** – мусковит, **Ksp** – полевошпат, **Lpd** – лепидолит



**Рис. 2.** Результаты экспериментов: I – нарост на зерно топаза (поле стабильности топаза), II – растворение зерна топаза (поле стабильности лепидолита), III – образование алюмофторидной фазы состава:  $(K,Li)_n AlF_{3+n}$ , IV – литийсодержащая алюмофторидная фаза

*Работа поддержана РФФИ (Грант №09-05-01185)*

### Литература

- Беус, А. А., Ю. П. Диков (1967), *Геохимия бериллия в процессах эндогенного минералообразования*, М.: Недра., 160 с.
- Глюк, Д. С., В. Н. Анфилогов (1973), Фазовые равновесия в системе гранит– $H_2O-HF$  при давлении  $1000 \text{ кг/см}^2$ , *Геохимия*, № 3, сс. 434–438.
- Коваленко, Н. И. (1977), Взаимодействие гранита с растворами плавиковой кислоты в связи с изучением генезиса фтористых гранитов, *Геохимия*, № 4, сс. 503–515.
- Рундквист, Д. В., В. К. Денисенко, И. Г. Павлова (1971), *Грейзеновые месторождения (онтогенез, филогенез)*, М.: Недра, 328 с.

## ШАПОВАЛОВ И СЕТКОВА: МИНЕРАЛЬНЫЕ РАВНОВЕСИЯ

Шаповалов, Ю.Б. (1988), Минеральные равновесия в системе  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-HF$  при  $T=300-600^{\circ}C$  и  $P=1000$  бар, *Очерки физико-химической петрологии*, Том. 15, сс. 160–167.

Burt, D. (1981), Acidity-salinity diagram-application to greisen and porphyry deposits, *Econ. Geol.*, V. 76, pp. 832–843.

Dolejs, D. and D.R. Baker (2004), Thermodynamic analysis of the system  $Na_2O-K_2O-CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-F_2O_{.1}$ : Stability of fluorine-bearing minerals in felsic igneous suites, *Contrib. Mineral. Petrol.*, V. 146, pp. 762–778.

Dolejs, D. and D.R. Baker (2007), Liquidus equilibria in the system  $K_2O-Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-F_2O_{.1}-H_2O$  to 100MPa: I. Silicate-fluoride liquid immiscibility in anhydrous systems, *Journal of Petrology*, V. 48, № 4, pp. 785–806.

Mutschler, F. E., E. G. Wright, S. Ludington, and J. T. Abbott (1981), Granite molybdenite systems, *Economic Geology*, V.76, pp. 874–897.