

## ОБРАЗОВАНИЕ Ga<sup>3+</sup>-СОДЕРЖАЩИХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И СИЛИКАТНЫХ ФАЗ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Калинин Г.М., Ковальская Т.Н., Варламов Д.А.

ИЭМ РАН, г. Черногловка, garik@iem.ac.ru

При минералогическом анализе образцов руд из золото-сульфидного рудопроявления Тыкотлова (Полярный Урал, близ г. Народной), отобранных в ходе полевых работ 2008-2010 гг., были обнаружены зональные агрегаты, для которых были установлены высокие содержания галлия - до 19 масс.% Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. На данный момент, в официальный перечень IMA входят только пять галлиевых минералов - цумгалит, зэнгеит, галлит, галлобедантит, крейселит. Все они относятся к гидроокислам, сульфидам или солям, то есть природные галлиевые силикатные и алюмосиликатные фазы неизвестны [Варламов и др., 2014, 2019]. В связи с тем, что галлий, благодаря изоморфизму с алюминием и близкому кристаллохимическому родству Ga<sup>3+</sup> с Fe<sup>3+</sup>, является ультрадисперсным элементом, были проведены серии экспериментов по синтезу галлийсодержащих силикатных и алюмосиликатных фаз при различных P-T параметрах с одинаковой продолжительностью опыта, которая составляла 10 суток [Ковальская и др., 2017], с целью определения способности вхождения галлия в структуры минералов. В ранее опубликованных работах был проведён синтез фаз в системе эпидот – эпидот-Ga, Ga-альбит, Ga-анортит и Ga-калиевый полевой шпат [Ковальская и др., 2019; Kotelnikov et al., 2019] и при помощи электронно-зондового рентгеноспектрального анализа определены их составы (см. табл. 1, 2).

Проведенные в диапазоне T=500-600 °C и P=2-5 кбар серии экспериментов показали, что Ga<sup>3+</sup> может занимать позицию как железа, так и алюминия в эпидотоподобных и шпатовых структурах. В результате практически всех опытов были получены гетерогенные фазы галлиевого анортита и галлиевого гроссуляра, преимущественно синтезирован твердый

Таблица 1. Составы синтезированных галлиевых эпидотов

|                                | 0.25 ф.е. Ga | 0.5 ф.е. Ga | 0.75 ф.е. Ga | 1 ф.е. Ga | Super-Ga |
|--------------------------------|--------------|-------------|--------------|-----------|----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 37.66        | 38.41       | 39.17        | 36.93     | 37.12    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 24.67        | 23.84       | 21.58        | 20.89     | -        |
| CaO                            | 21.15        | 20.72       | 21.37        | 22.98     | 21.18    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7.26         | 7.38        | 4.85         | 0.12      | -        |
| Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.86         | 8.66        | 12.28        | 19.00     | 41.23    |
| Сумма                          | 99.60        | 99.00       | 99.25        | 99.92     | 99.53    |

Таблица 2. Средние химические составы галлиевых полевых шпатов

|                                | Ca-Ga | Na-Ga  | K-Ga  |
|--------------------------------|-------|--------|-------|
| Na <sub>2</sub> O              | 0     | 12.5   | 0     |
| SiO <sub>2</sub>               | 34.32 | 56.88  | 55.78 |
| K <sub>2</sub> O               | 0.02  | 0.06   | 14.78 |
| CaO                            | 17.95 | 0.18   | 0.03  |
| Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 47.19 | 30.4   | 29.77 |
| Сумма                          | 99.49 | 100.02 | 100   |

раствор эпидот – Ga-эпидот, а также синтезированы и другие стабильные фазы галлиевых минералов, обладающие изоморфизмом Fe<sup>3+</sup> ↔ Ga<sup>3+</sup> и Al<sup>3+</sup> ↔ Ga<sup>3+</sup>; были выявлены Ga-плаггиоклазы, достаточно однородные по своему составу и соответствующие формуле Ca<sub>1.1</sub>Al<sub>0.93</sub>Fe<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.98</sub>Si<sub>1.92</sub>O<sub>8</sub>, а также Ga-гранат Ca<sub>3.01</sub>Ga<sub>1.96</sub>Si<sub>3.02</sub>O<sub>12</sub>. Следует обратить внимание, что гранат образовывался с полным замещением железа и алюминия на галлий, в то время как в плаггиоклазе галлий занимал позицию только половины атомов алюминия.

В продуктах экспериментов с различным содержанием галлия прослеживается схожесть составов гранатов и плаггиоклазов, что говорит о стабильности силикатных фаз, содержащих галлий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Варламов Д.А., Ермолаева В.Н., Чуканов Н.В., Янчев С., Вигасина М.Ф., Плечов П.Ю. Новое в минералогии надгруппы эпидота: необычные химические составы, типохимизм. КР-спектроскопия // Записки Российского минералогического общества. 2019. Т. 148. №1. С. 79-99.
2. Варламов Д.А., Ковальская Т.Н., Котельников А.Р., Калинин Г.М. Синтез различных силикатных фаз в системе Ga-Ca-Fe-Al-Si-O-H<sub>2</sub>O // Всероссийский ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЕСЭМПГ-2014) 15-16 апреля 2014, Москва, ГЕОХИ РАН. 2014. С. 14–15.
3. Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Котельников А.Р., Калинин Г.М. Синтез и изучение твердых растворов галлийсодержащих минералов в гидротер-

- мальных условиях // IX Международный симпозиум «Минеральное разнообразие: исследование и сохранение». 2017. С. 57–57.
4. Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Котельников А.Р., Чуканов Н.В., Калинин Г.М. Гидротермальный синтез галлиевого эпидота – аналога фазы  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Ga}(\text{Si}_3\text{O}_{12})(\text{OH})$  из Тыкотловского золото-сульфидного проявления (Пол.Урал) // Геохимия. 2019. №10. С. 1079-1090.
  5. Kotelnikov A.R., Suk N.I., Akhmedzhanova G.M., Kovalskaya T.N., Shchipalkina N.V. Experimental study of Na, K distribution in the system feldspar  $(\text{Na,K})\text{GaSi}_3\text{O}_8$  - fluid at 550 °C and p=1.5 kbar // X International Symposium “Mineral diversity: research and preservation”, Earth and Man National Museum. София, Болгария. 2019. С. 9-9.