

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**Отделение наук о Земле**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции**  
**Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского**  
**(ГЕОХИ РАН)**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Институт экспериментальной минералогии**  
**(ИЭМ РАН)**

**Российское минералогическое общество**

**ТРУДЫ**  
**ВСЕРОССИЙСКОГО**  
**ЕЖЕГОДНОГО СЕМИНАРА**  
**ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ**  
**МИНЕРАЛОГИИ, ПЕТРОЛОГИИ**  
**И ГЕОХИМИИ**  
**(ВЕСЭМПГ-2019)**

**Москва, 16–17 апреля 2019 г.**



Москва



УДК 550.43

**СИНТЕЗ АЛЛАНИТА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ****Ковальская Т.Н., Ханин Д.А., Варламов Д.А., Калинин Г.М.***(ИЭМ РАН), (tatiana76@iem.ac.ru)***ALLANITE SYNTHESIS IN HYDROTHERMAL CONDITIONS. PRELIMINARY DATA****Kovalskaya T.N., Khanin D.A., Varlamov D.A., Kalinin G.M.***(IEM RAS), (tatiana76@iem.ac.ru)*

**Abstract:** This work is devoted to the experimental study of the formation of allanite in hydrothermal conditions and isomorphic substitution  $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Si}^{4+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{Y}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Ce}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Y}^{3+}$  in it. Conducted 2 series of experiments on the synthesis at a temperature of 500-550 °C and a pressure of 4 kbar. Various silicate cerium and yttrium phases, including the epidote composition, were obtained in the products.

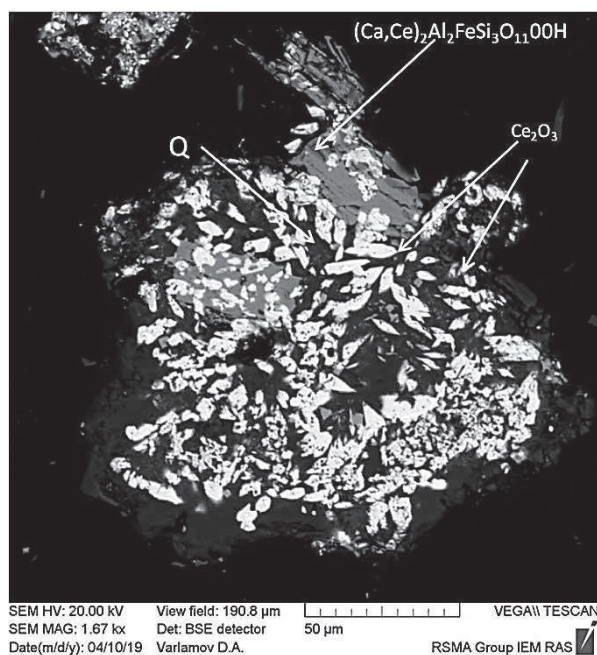
*Keywords: epidote, allanite, hydrothermal conditions, experiment, cerium, yttrium, isomorphic substitution, allanite-(Ce), allanite-(Y)*

Минералы группы эпидоты являются широко распространёнными породообразующими и аксессуарными минералами во многих типах метасоматических пород, а также в ряде магматических и метоморфических породах (Варламов и др., 2019). Они являются своего рода индикаторами геохимических процессов, которые происходят при образовании и изменении той или иной породы. Первоначальный интерес был вызван находкой при проведении полевых работ на рудопроявлении Тыкотлова (Полярный Урал) образцов галлий содержащего алланита-(Ce), в сростании с Ga эпидотом (Varlamov et al., 2011). Их совместное нахождение и сростание указывает на их одновременное образование (Ковальская и др., 2019), а неравномерность в перераспределении церия и галлия на необычность условий их образования. Авторами были проведены серии опытов по синтезу Ga – эпидота в широком диапазоне составов при температуре до 500°C и давлении до 5 кбар. С целью воссоздания условий образования ассоциации алланит –(Ce) – эпидот –(Ga) и оценки распределения компонентов при этом, в работе были предприняты попытки провести синтез алланита при аналогичных условиях. Для этого были приготовлены стехиометричные гелиевые смеси алланитов различного состава – алланита-(Ce) и алланита-(Y). Затем смеси загружались в платиновые ампулы диаметром 4-5 мм в соотношении флюид/навеска 1/10. В качестве флюида использовалась дистиллированная вода. Опыты проводились на газовой установке высокого давления с внутренним нагревом (УВД-10000) при температуре 500 и 550°C и давлении 4-5 кбар. Единственным отличием являлось то, что перед выдержкой при 500°C и 550°C и давлении 4 кбар реакционная смесь выдерживалась в течение 3 часов при температуре 1100°C и давлении 4 кбар. Это было необходимо для гомогенизации смеси. Затем происходило изобарическое охлаждение до 500°C. Длительность опытов составляла 10 суток.

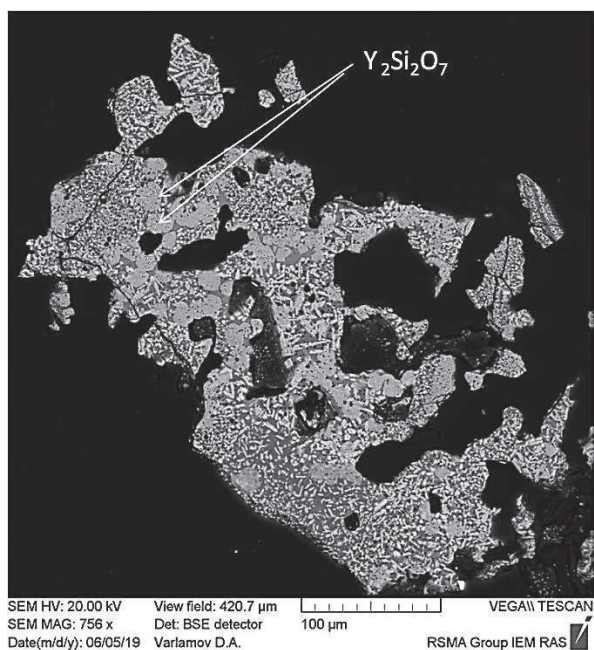
В результате опытов были получены мелкие до 50 мкм сростки, сложенные из расщепленных кристаллов церийсодержащего эпидота (рис. 1). Кристаллы эти частично сростаются с кварцем и  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ , опыт этот проводился при полном замещении  $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{Ce}^{3+}$ . Первая серия опытов проводилась при температуре 550 °C и давлении 5 кбар. в продуктах этих опытов произошел распад алланита, аналогичных распаду «эпидота-Ga», описанный в работе Ковальской с соавторами (2015). В результате наблюдалось образование фазы со стехиометрией состава, отвечающей формуле  $\text{Ca}_2\text{Ce}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  и фазы  $\text{Ca}_3\text{Ce}^{3+}_2[\text{SiO}_4]_3$ , соответствующей по составу гранату.

При температуре 500 °C происходит частичное заполнение церием позиции А, вместо Al. Содержание  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  при этом достигает 8.6 мас.%, а  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 33.2 мас.%. В целом при достаточно невысоких температурах происходит практически полное замещение кальция на церий, а также частичное замещение и алюминия. С еще большим понижением температуры происходит замещение только кальция на церий, а также кремния на алюминий для компенсации зарядов. При температурах более 550°C происходит образование более устойчивой анортитоподобной цериевой фазы вместо эпидота. В опытах с замещением  $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{Y}^{3+}$  при 500°C и давлении 4 кбар наиболее устойчивой фазой является иттриалит состава  $\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ . (рис. 2). Полученные данные свидетельствуют о том, что при данных P-T параметрах устойчивы силикаты церия и иттрия, однако таких условий недостаточно для образования алланитов как основной фазы. В некоторых опытах при температуре 500°C получены фазы, аналогичные алланитам по стехиометрии, но скорее всео

они являются заключительными фазами кристаллизации. Работы по синтезу и изучению аллатнитов, а также других фаз в системе Ca-Ce-Y-Fe-Al-Si-O-H<sub>2</sub>O будут продолжены.



**Рис. 1.** Кристаллы синтезированного цериевого эпидота.



**Рис. 2.** Кристаллы синтетического иттриали.

## Литература

- Варламов Д.А., Ермолаева В.Н., Чуканов Н.В., Янчев С., Вигасина М.Ф., Плечов П.Ю. (2019) Новые данные о химическом составе и КР-спектрах минералов надгруппы эпидота. // ЗРМО, 1, 79-99.
- Ковальская, Т. Н., Варламов, Д. А., Котельников, А. Р., Калинин, Г. М. Возможность вхождения галлия в структуру силикатов и алюмосиликатов. In Доклады VIII Международного симпозиума "Минеральное разнообразие - исследование и сохранение" (2015), Национальный музей Земля и люди София, pp. 142–145.
- Ковальская Т.Н., Варламов Д.А., Котельников А.Р., Чуканов Н.В., Калинин Г.М. (2019) Гидротермальный синтез галлиевого эпидота – аналога фазы Ca<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Ga(Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>)(OH) из Тыкотловского золото-сульфидного проявления. //Геохимия, 10, в печати.
- Varlamov D., Soboleva A., Mayorova T., Kotelnikov A., Kovalskaya T. (2011) New data for Epidote-(Ga): composition, properties and synthesis In Abstr. of VI Int. symposium «Mineral diversity – research and preservation», Sofia, Bulgaria, Earth and Man National Museum, 22