

**ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МИНЕРАЛА ТИТАНИТА
(CaTiSiO_5) В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ УДАРНЫХ ДАВЛЕНИЙ
(Метеоритный кратер Кара, Урал)**

Ударное воздействие космического тела на поверхность планеты приводит к мгновенному увеличению давления и температуры. Титанит (CaTiSiO_5) является тугоплавким и распространенным минералом, устойчивым вплоть до давлений 20 ГПа и температур 1650 К. Ранее нами обнаружена взаимосвязь химического состава с деформациями кристаллов титанита из кратера Кара, Урал [1]. Кроме того, матрицы на основе титанита считаются перспективными для иммобилизации радиоактивных отходов, а также используются как диэлектрики. В последнее время титаниту и его структурным аналогам уделяется большое внимание, однако мало данных о его поведении в условиях ударного метаморфизма. Настоящая работа посвящена анализу химического состава и изоморфизма титанита (CaTiSiO_5) из метеоритного кратера Кара.

С использованием электронно-зондового микроанализатора (ЭЗМА) CAMECA SX100, сканирующего электронного микроскопа TESCAN Mira LMS, оснащенного приставкой Oxford Instruments EDS X-max80 и EBSD NordlysNano, исследованы полированные образцы зювитов Карского метеоритного кратера с обнажения на реке Нганораха-Яха.

Элементное ЭДС-картирование демонстрирует, что распределение элементов неоднородно, и имеет связь с микроструктурой деформаций (рис. 1 а, б). Локальный химический анализ зональных образцов титанита на ЭЗМА показал присутствие примесных элементов: Mg до 0,17; Al до 2,92; Fe до 0,32; F до 1,3 и ОН-группы до 5,64 атом. %,

а также Na до 0,04; K до 0,05 и P до 0,08 атом. %. Выявлена обратно пропорциональная зависимость концентрации основных элементов Ti и Ca от примесей Al, Fe, F и OH-группы (рис. 1в).

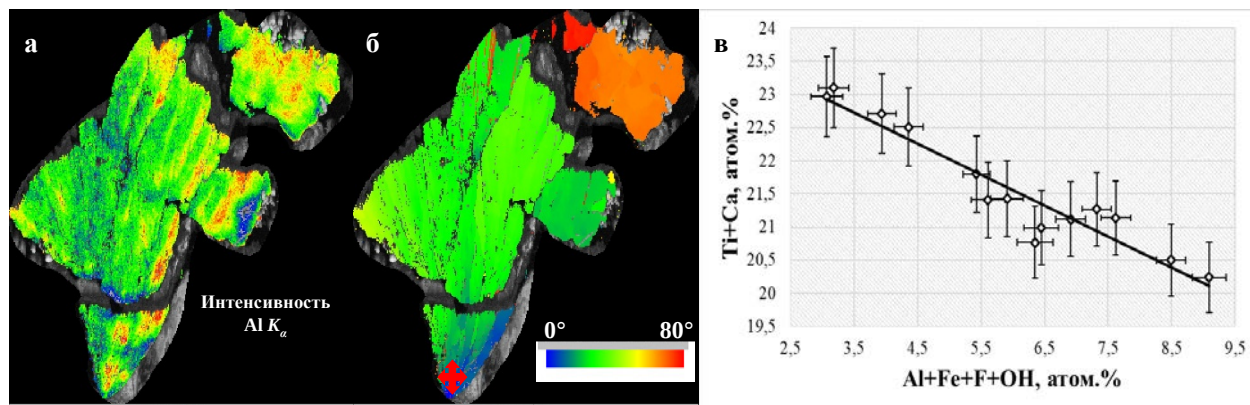
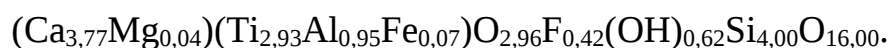


Рис. 1. Данные о химическом составе и ориентировках титанита кратера Кара:
 а – карта интенсивности Al K α (от синего до красного); б – разориентация относительно точки (красный крестик); в – зависимость концентрации (Ti + Ca) от (Al + Fe + F + OH)

Полученные данные о химическом составе позволяют предполагать реализацию четырех основных типов замещений, характерных для титанита: $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+}$, $\text{TiO}^{2-} \rightarrow \text{AlF}^{2-}$, $\text{TiO}^{2-} \rightarrow \text{AlOH}^{2-}$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Ti}^{4+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{3+}$. Для участка с наибольшим содержанием алюминия рассчитана молекулярная формула:



Таким образом, экстремальные ударные условия, возникшие при импактном событии, привели к изменению концентраций Ca и Ti на 1,28 и 2,09 атом. % соответственно. Последнее указывает на высокую реакционную способность титанита в условиях ударных давлений и температур.

Работа выполнена в ЦКП «Геоаналитик» УрО РАН (проект 075-15-2021-680) при поддержке МНВО РФ, проект АААА-А19-119071090011-6

Список литературы

1. Деформации титанита и монацита из импактного кратера Кара по данным EBSD-анализа / Н. С. Чебыкин и др. // Материалы XII Международной школы по наукам о Земле имени профессора Л. Л. Перчука (ISES-2022),

7–19 сентября 2022 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2022. – С. 96.