

ПРИРОДНЫЕ УРАНОВЫЕ И ТОРИЕВЫЕ ГРАНАТЫ

Галускина И.О.¹ (irina.galuskina@us.edu.pl), Галускин Е.В.¹, Газеев В.М.²,
Перцев Н.Н.²

¹ Силезский Университет, Польша; ² ИГЕМ РАН, Москва

NATURAL URANIAN AND THORIAN GARNETS

Galuskina I.O.¹, Galuskin E.V.¹, Gazeev V.M.², Pertsev N.N.²

¹ University of Silesia, Poland; ² IGEM RAS, Moscow

Матрицы на основе структуры ферриграната являются перспективными материалами для иммобилизации высокорadioактивных отходов. Из-за отсутствия природных аналогов изучение радиационной устойчивости гранатовых матриц до сих пор проводилось на синтетических материалах (Livshits & Yudinsev, 2008; Лившиц, 2010). В последние годы были открыты новые гранаты со значительными содержаниями урана и тория, представленные сложным твердым раствором $(Ca, Th, Ce, La \dots)_3(Zr, Sn, Sb^{5+}, U^{6+}, Ti^{4+}, Nb^{5+}, Sc, Hf, \dots)_2(Fe^{3+}, Al, Si, Ti, Fe^{2+} \dots)_3O_{12}$ ($a \approx 12.5-12.7 \text{ \AA}$). Эти гранаты были обнаружены в скарнированных карбонатных ксенолитах в игнимбритах Верхнечегемской кальдеры, Северный Кавказ, Кабардино-Балкария (Galuskina et al., 2010_{1, 2, 3}). Уран в гранатах, представленных силикатами, ферритами и алюминатами, распределен неравномерно с тенденцией обогащения ураном ферритовых Zr-гранатов (рис.). В спурритовых и ларнит-чегемитовых зонах скарнов широко развиты урановые гранаты серии керимасит-эльбрусит-(Zr) (Galuskina et al., 2010₂). Содержание урана в этой серии изменяется от первых процентов до 27 мас.% UO_3 , что отвечает 0.72 ф.к. (около 70 % эльбруситового минала). Керимаситы из куспидиновой зоны характеризуются самыми высокими содержаниями Th до 4 мас.% ThO_2 , а также содержат до 8 мас.% UO_3 . Очень редко встречается оловянный аналог эльбрусита-(Zr) – «эльбрусит-(Sn)», в нем содержания урана достигают 24 мас.% UO_3 (Galuskina et al., 2010₂). В оловянных гранатах из ларнит-куспидиновой зоны: тотурите $Ca_3Sn_2Fe^{3+}_2SiO_{12}$ и его аналогах – «тотурите-Al» и «тотурите-Ti», содержания урана не превышают 3-4 мас.% UO_3 (~ 0.1 ф.к.) (рис.; Galuskina et al., 2010₃). В открытом недавно «битиклеите-(SnFe)», содержания урана достигают 10-12 мас.% UO_3 (рис.). В других сурьмяных гранатах битиклеитовой серии из куспидиновых зон: битиклеите-(SnAl) и битиклеите-(ZrFe), содержания UO_3 колеблются около 1 мас.%, а в ассоциирующим керимасите содержание $UO_3 \approx 5-6$ мас.% (Galuskina et al., 2010₁). В кумтюбеитовой зоне обнаружен гранат $(Ca_{3.044}Mn^{2+}_{0.010}Ce^{3+}_{0.004}La^{3+}_{0.006})_{\Sigma 3.064}(U^{6+}_{0.530}Sb^{5+}_{0.400}Zr_{0.384}Sn_{0.355}Ti^{4+}_{0.146}Nb^{5+}_{0.066}$

$\text{Sc}_{0.008}\text{Cr}_{0.003}\text{Mg}_{0.015}\text{Σ}_{1.936}(\text{Fe}^{3+}_{2.195}\text{Al}_{0.438}\text{Fe}^{2+}_{0.372}\text{Ti}^{4+}_{0.116}\text{Si}_{0.035})\text{Σ}_3\text{O}_{12}$, который формально относится к эльбруситу-(Zr) (сумма эльбруситовых миналов ~ 53 %) и имеет высокие содержания минала битиклеита (~ 40 %) и Nb-аналога битиклеита $\text{Ca}_3\text{Nb}^{5+}\text{ZrFe}^{3+}_3\text{O}_{12}$ (~ 7%). В этих гранатах содержание UO_3 превышает 20 мас.%. Кроме того повышенные содержания урана (~ 3-6 мас.% UO_3) отмечены в керимаситах, в тетраэдрических позициях которых преобладающим четырехвалентным катионом является Ti (рис.). По предварительным данным природные урановые и ториевые гранаты ($\text{UO}_3 \approx 20$ мас.% и $\text{ThO}_2 \approx 1$ мас.%) с расчетной дозой облучения $D\alpha \approx 15 \times 10^{14}$ α-распад/мг полностью метамиктизированы. В высокоурановых керимаситах ($\text{UO}_3 \approx 15$ мас.%) структура частично сохраняется, причем уран имеет тенденцию к концентрации в метамиктных доменах (Galuskina et al., 2010).

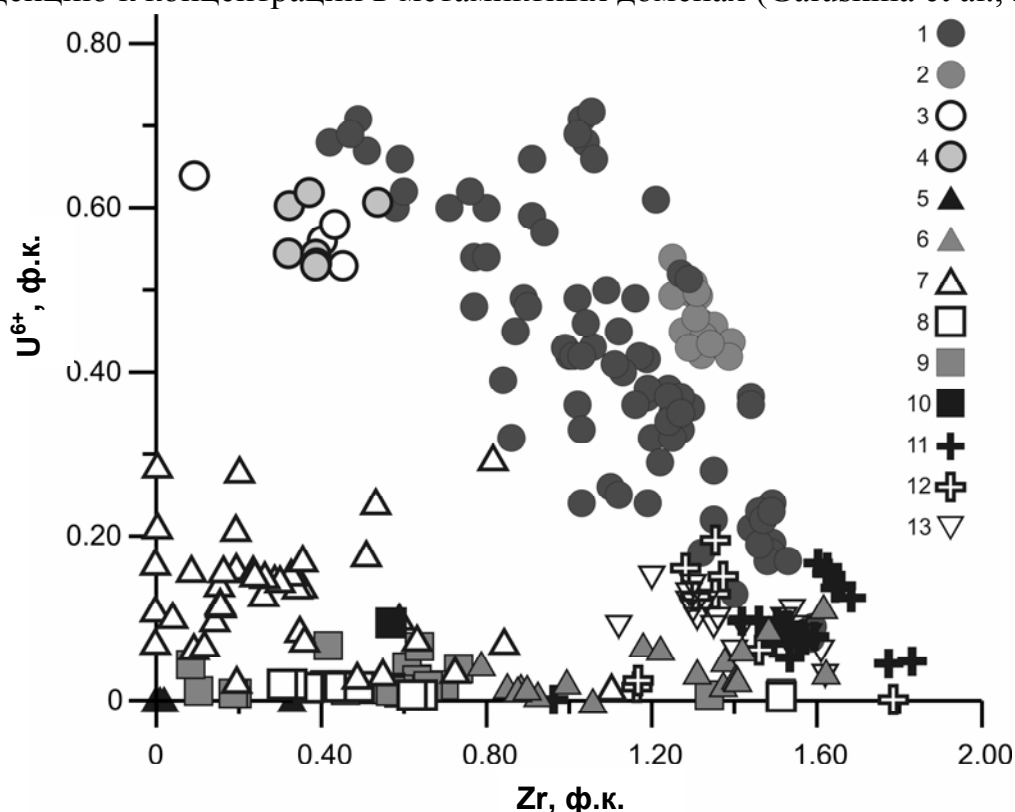


Рис. Точки микрозондовых анализов гранатов из ксенолитов Верхнечегемской кальдеры на графике Zr ф.к. – U^{6+} ф.к. (ф.к. – формульные коэффициенты), 1 – серия эльбрусит-(Zr) $\text{Ca}_3\text{U}^{6+}\text{ZrFe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_{12}$ - керимасит $\text{Ca}_3\text{Zr}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{SiO}_{12}$, спурритовый скарн; 2 – серия эльбрусит-(Zr) – керимасит, чегемитовый скарн; 3 – «эльбрусит-(Sn)» $\text{Ca}_3\text{U}^{6+}\text{SnFe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_{12}$; 4 – серия эльбрусит-(Zr) – «битиклеит-(SnFe)» $\text{Ca}_3\text{Sb}^{5+}\text{SnFe}^{3+}_3\text{O}_{12}$; 5 – битиклеит-(SnAl) $\text{Ca}_3\text{Sb}^{5+}\text{SnAl}_3\text{O}_{12}$; 6 – серия битиклеит-(ZrFe) $\text{Ca}_3\text{Sb}^{5+}\text{ZrFe}^{3+}_3\text{O}_{12}$ – керимасит; 7 – «битиклеит-(SnFe)»; 8 – серия «тотурит-Al» $\text{Ca}_3\text{Sn}_2\text{Al}_2\text{SiO}_{12}$ – кимцеит $\text{Ca}_3\text{Zr}_2\text{Al}_2\text{SiO}_{12}$; 9 – серия тотурит $\text{Ca}_3\text{Sn}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{SiO}_{12}$ – керимасит; 10 – «тотурит-Ti» $\text{Ca}_3\text{Sn}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{TiO}_{12}$, 11 – высокоториевый керимасит, куспидиновый скарн; 12 – высокоториевый керимасит, чегемитовый скарн; 13 – «керимасит-Ti» $\text{Ca}_3\text{Zr}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{TiO}_{12}$. Здесь и далее названия в кавычках – рабочие названия новых гранатов, не прошедшие еще процедуру утверждения CNMNC IMA.

Работа частично финансирована Министерством науки и высшего образования Польши, гранты N N307 100238 и N N307 097038 и Российским фондом фундаментальных исследований, проект 08-05-00181.

Лившиц Т.С. Изоморфизм актиноидов и РЗЭ в синтетических ферритных гранатах. // Геология рудных месторождений, 2010, т. 52, No 1. С. 53-64.

Galuskina I.O., Galuskin E.V., Armbruster T., Lazic B., Dzierżanowski P., Gazeev V.M., Prusik K., Pertsev N.N., Winiarski A., Zadov A.E., Wrzalik R., Gurbanov A.G. Bitikleite-(SnAl) and bitikleite-(ZrFe) – new garnets from xenoliths of the Upper Chegem volcanic structure, Kabardino-Balkaria, Northern Caucasus, Russia. // American Mineralogist, 2010₁, 95 (in press).

Galuskina I.O., Galuskin E.V., Armbruster T., Lazic B., Kusz J., Dzierżanowski P., Gazeev V.M., Pertsev N.N., Prusik K., Zadov A.E., Winiarski A., Wrzalik R., Gurbanov A.G. Elbrusite-(Zr) – a new uranian garnet from the Upper Chegem caldera, Kabardino-Balkaria, Northern Caucasus, Russia. // American Mineralogist, 2010₂, 95 (in press).

Galuskina I.O., Galuskin E.V., Dzierżanowski P., Gazeev V.M., Prusik K., Pertsev N.N., Winiarski A., Zadov A.E., Wrzalik R. (2010c) Toturite $\text{Ca}_3\text{Sn}_2\text{Fe}_2\text{SiO}_{12}$ – a new mineral species of the garnet group. // American Mineralogist, 2010₃, 95 (in press).

Livshits T.S., Yudinsev S.V. (2008) Natural and synthetic minerals – matrices (forms) for actinide waste immobilization, 193–207. // S. Krivovichev, Ed., Minerals as Advanced Materials, Berlin, Springer.