

## СТРУКТУРЫ РАСПАДА В МЭЙДЖОРИТОВЫХ ГРАНАТАХ ИЗ ТРУБКИ МИР (ЯКУТИЯ)

*Е. А. Сироткина*

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва,  
katty.ea@mail.ru*

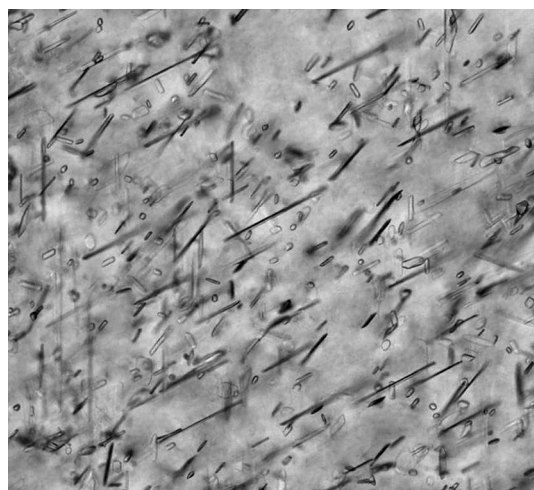
Мэйджоритовые гранаты широко распространены в виде включений в алмазах различных регионов мира [Stachel, 2001]. Образование таких минералов связано с высокобарическим растворением пироксеновых ( $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ ,  $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ ) компонентов в составе граната, которое происходит в условиях нижних частей верхней мантии и переходной зоны. Вместе с тем, признаки кристаллизации при давлениях выше 7–8 ГПа обнаруживаются для гранатов из мантийных ксенолитов в кимберлитах [Haggerty, Sautter, 1990; Sautter et al., 1991], а также пород ультравысокобарных метаморфических комплексов [Van Roermund, Drury, 1998; Pandey et al., 2010]. В этих гранатах обнаруживаются структуры распада (ламели) пироксена, отражающие их декомпрессионное разложение в ходе подъема гранатосодержащих пород в верхние горизонты Земли. Условия первичной кристаллизации мэйджоритовых гранатов реконструируются на основе подсчета концентрации пироксеновых вростков и определения их состава.

В качестве объекта исследования в настоящей работе были выбраны три мегакристалла граната (обр. 317, 559, 563) размером  $>5$  мм с многочисленными ориентированными вростками пироксена и оливина из кимберлитовой трубки Мир (Якутия). Из гранатов были изготовлены плоскопараллельные пластинки толщиной 0.5–0.8 мм, в которых методом оптической микроскопии в проходящем свете были выявлены взаимоотношения и определены размеры минералов в структурах распада. Для установления ориентировок вростков и определения углов между плоскостями, содержащими структуры распада, был применен федоровский метод. Определение состава фаз проводилось на электронном микроскопе Jeol JSM-6480LV, оснащенный энергодисперсионным микроанализатором INCA в лаборатории локальных методов исследования вещества геологического факультета МГУ. Для точного определения процентного содержания вростков пироксена и оливина в объеме граната нами был впервые применен метод рентгеновской томографии. Исследование проводилось на сканере Skyscan 1172 на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ при напряжении 59 кВ и силе тока 167 мкА. Полученные картины рентгеновской плотности были обработаны в программах CT-An и CTvol с целью получения объемных изображений и количественных оценок.

Изученные гранаты из трубки Мир имеют розовый цвет с оранжевым оттенком и содержат большое количество игл моноклинного пироксена и оливина, распределенных в объеме граната равномерно. Толщина игл составляет десятые доли мкм, а длина варьирует от  $4 \times 10^{-3}$  до 0.5 см. Игольчатые включения строго ориентированы в структуре граната по трем направлениям (рис. 1). Углы между парами пересекающихся игл, измеренные на федоровском столике, составляют 70–71°, что соответствует углам между осями третьего порядка в кубической структуре граната. Можно сделать вывод, что иглы лежат в гранате в плоскости ромбододекаэдра. Закономерная ориентировка включений и их характерная форма позволяют сделать вывод, что эти иглы представляют собой структуры распада в мэйджоритовом гранате. Количественно в обр. 317 и 559 клинопироксен значительно преобладает над оливином, а в обр. 563 ламели представлены только пироксеном.

С помощью микронзондового анализа были получены составы граната, клинопироксена и оливина (таблица). Гранаты всех трех образцов характеризуются существенно

Рис. 1. Гранат со структурами распада клинопироксена (видны три направления ориентировки ламелей) из кимберлитовой трубки Мир. Обр. 559. Изображение в проходящем свете.



0,5 мм

пироповым (74.5 мол. % в обр. 317 и 77.0–77.8 мол. % в обр. 559 и 563) составом, практически постоянным в различных участках гранатов. Минералы характеризуются умеренными содержаниями кальция (4.5–5.8 мас. % CaO) и сравнительно невысокими содержаниями хрома (до 0.59 мас. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), что соответствует гранату лерцолитового парагенезиса [Гаранин и др., 1991]. Содержания Na<sub>2</sub>O в гранатах крайне низки (0.06–0.07 мас. %). Клинопироксены по составу отвечают диопсидам с незначительными примесями геденбергитового и жадеитового компонентов.

Таблица

**Составы мегакристаллов граната, вростков клинопироксена и оливина из кимберлитовой трубки Мир**

	Обр. 317				Обр. 559				Обр. 563		
	Grt	Cpx	Ol	Grt*	Grt	Cpx	Ol	Grt*	Grt	Cpx	Grt*
SiO <sub>2</sub>	42.23	54.64	41.40	42.53	42.29	54.32	40.85	42.58	42.66	54.68	43.15
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.09	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.009	0.00	0.04	0.002
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.30	1.01	0.12	22.29	23.35	1.80	0.18	22.37	23.61	1.87	22.74
FeO	5.68	1.07	4.42	5.47	5.48	1.09	4.54	5.27	5.45	1.09	5.27
MnO	0.21	0.00	0.00	0.20	0.18	0.00	0.00	0.17	0.24	0.03	0.23
MgO	21.34	17.90	51.20	21.12	22.33	17.26	51.57	22.04	22.21	17.20	22.01
CaO	5.72	24.51	0.05	6.44	4.55	23.35	0.00	5.28	4.96	23.46	5.70
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.47	0.00	0.08	0.06	0.93	0.00	0.09	0.07	1.01	0.11
K <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.00	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.29	2.79	0.013	0.00	0.21	1.64	0.01	0.00	0.20	0.008
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.59	0.11	0.00	0.57	0.43	0.16	0.00	0.42	0.39	0.15	0.38
Сумма	99.18	100.14	99.98	98.77	98.68	99.15	98.79	98.26	99.59	99.77	99.60
	Grt	Cpx	Ol	Grt*	Grt	Cpx	Ol	Grt*	Grt	Cpx	Grt*
Si	2.993	1.978	1.001	3.018	2.997	1.979	0.996	3.022	2.998	1.980	3.037
Ti	0.001	0.002	0.000	0.001	0.0005	0.000	0.000	0.0005	0.000	0.001	0.000
Al	1.946	0.043	0.003	1.862	1.950	0.077	0.005	1.869	1.955	0.079	1.883
Fe	0.336	0.032	0.089	0.324	0.324	0.033	0.092	0.313	0.320	0.033	0.310
Mn	0.013	0.00	0.000	0.012	0.011	0.000	0.000	0.011	0.014	0.001	0.014
Mg	2.253	0.965	1.846	2.232	2.358	0.937	1.874	2.329	2.325	0.928	2.306
Ca	0.434	0.950	0.001	0.491	0.345	0.911	0.000	0.403	0.373	0.910	0.431
Na	0.008	0.033	0.000	0.011	0.009	0.066	0.000	0.014	0.009	0.071	0.015
K	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.004	0.054	0.001	0.000	0.003	0.032	0.001	0.000	0.003	0.000
Cr	0.034	0.003	0.000	0.032	0.024	0.005	0.000	0.024	0.022	0.004	0.021
Сумма	8.019	4.013	2.996	7.985	8.020	4.012	3.000	7.984	8.018	4.012	8.018

*Примечание.* Приведенные анализы получены путем усреднения данных по 8–10 точкам. Grt – гранат; Cpx – моноклинный пироксен; Ol – оливин; Grt\* – мэйджоритовый гранат, состав, которого рассчитан исходя из соотношений 95.5 % Grt + 4 % Cpx + 0.5 % Ol.

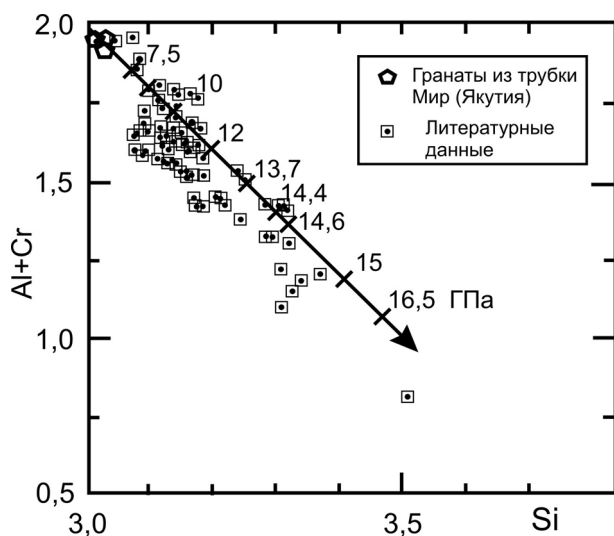


Рис. 2. Диаграмма состава мэйджоритовых гранатов в зависимости от давлений их образования, по [Stachel, 2001].

Магнезиальность ламелей пироксена в пределах одного образца практически не меняется. Она составляет от 89.8 до 93.6 %. В пироксенах отмечается примесь NiO в диапазоне 0.2–0.3 мас. %, а содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.11–0.16 мас. %. Состав оливинов из образцов 317 и 559 соответствует форстериту с магнезиальностью 95.3 % в обоих образцах. Оливины характеризуются повышенным содержанием никеля от

1.6 мас. % (обр. 559) до 2.79 мас. % (обр. 317) NiO. Отметим, что столь высокие содержания никеля в оливине крайне редки.

Для реконструкции исходного состава мэйджоритового граната было проведено определение процентного содержания включений пироксена и оливина в объеме граната с помощью программы СТ-Ап. Для выделения вростков минералов на наборе фотографий плоских срезов мэйджоритового граната была использована гистограмма, отображающая распределение яркости. В ходе детального 3D анализа обр. 317 было установлено, что в объеме граната на долю ламелей пироксена приходится 4 об. %, а оливина – 0.5 об. %. Отметим, что полученные соотношения характеризуют минимальные объемные содержания пироксена и оливина в силу использования максимально «строгого» режим снятия фона, а также невозможности учета наиболее мелких ламелей. Рассчитанные первичные составы граната показывают, что содержания кремния превышают 3 ф.е. Si (таблица), в них устанавливается примесь натрия, а значит, до распада минералы соответствовали *Na-содержащим мэйджоритовым гранатам*. Судя по диаграмме (рис. 2), образование таких гранатов происходило при давлениях не менее 6 ГПа, а впоследствии снижение давления привело к образованию структур распада в них. При этом экстремально высокие концентрации никеля в оливине и примесь никеля в пироксене указывают на присутствие никеля в исходном мэйджоритовом гранате и высокотемпературную кристаллизацию (~1500 °C) данного минерала [Canil, 1999].

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-05-00027).*

### Литература

- Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Марфунин А. С., Михайличенко О. А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: Изд-во МГУ, 1991. 240 с.
- Canil D. The Ni-in-garnet geothermometer: calibration at natural abundances // Contrib. Mineral. Petrol. 1999. V. 136. P. 240–246.
- Haggerty S. E., Sautter V. Ultradeep (>300 km) ultramafic, upper mantle xenoliths // Science. 1990. 248. P. 993–996.
- Pandey A., Leech M., Milton A., Singh P., Verma P. K. Evidence of former majoritic garnet in Himalayan eclogite points to 200-km-deep subduction of Indian continental crust // Geology. 2010. 38. 399–402.
- Sautter V., Haggerty S. E., Field S. Ultradeep (>300 km) ultramafic xenoliths: petrological evidence from the transition zone // Science. 1991. 252. 827–830.
- Stachel T. Diamonds from the asthenosphere and the transition zone // Eur. J. Mineral. 2001. V. 13. P. 883–892.
- Van Roermund H. L. M. and Drury M. R. Ultra-high pressure (P > 6 GPa) garnet peridotites in Western Norway: exhumation of mantle rocks from >185 km depth // Terra Nova. 1998. 10. 295–301.