

О НАХОДКЕ ТУГОПЛАВКИХ БОГАТЫХ ФОРСТЕРИТОМ ВКЛЮЧЕНИЙ В МЕТЕОРИТЕ СЕВЕРНЫЙ КОЛЧИМ (НЗ)

Берзин С.В.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, sbersin@yandex.ru

В метеорите Северный Колчим (НЗ) были установлены тугоплавкие богатые форстеритом включения (англ. «refractory forsterite rich objects»). Данные включения имеют размеры от 50 до 300 мкм и сложены высокомагнезиальным форстеритом, или сростаниями высокомагнезиальных форстерита и энстатита. Изучение включений производилось при помощи сканирующего электронного микроскопа JSM 6390LV (Jeol) с ЭДС приставкой EDS X-max 80 (Oxford Instruments) и электронно-зондового микроанализатора Cameca SX100 в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург).

Больше половины найденных тугоплавких включений имеют размер около 50 мкм, остроугольную обломочную или округлую форму и сложены высокомагнезиальным форстеритом (f 0,004-0,2 или 0,4-2,0% FeO) [Берзин, 2016]. При этом форстерит содержит существенную примесь «тугоплавких» примесей CaO 0,50-0,98% и Al_2O_3 0,11-0,37% (конденсировавшихся при более высоких температурах), и аномально пониженные содержания MnO (ниже пределов обнаружения микронда), что является отличительной чертой «refractory forsterite rich objects» [Steele, 1986, 1989; Scott, Krot, 2014; и др.]. Почти все зерна высокомагнезиального форстерита имеют зональное строение, по краям их железистость увеличивается до FeO 2-5%, содержания CaO и Al_2O_3 падают пропорционально увеличению железистости. Такая зональность является типичной для оливина из богатых форстеритом включений [Steele, 1986, 1989; Pack et al., 2004, 2005].

Помимо обособленных зерен оливина найдены единичные сростания высокомагнезиального форстерита ($f < 0.01$, CaO ~0.5%) и высокомагнезиального энстатита, имеющие остроугольную обломочную форму и размер до 300 мкм. Энстатит в сростании с форстеритом имеет крайне низкую железистость FeO 0,5-2,5% и также обогащен «тугоплавкими» примесями CaO до 0,5% и Al_2O_3 до 1,5%. Встречены обособленные обломочные зерна высокомагнезиального энстатита ($f < 0.01$) размером 40 мкм с содержаниями CaO 2,33%, Al_2O_3 1,68%, TiO_2 0,16%, Cr_2O_3 0,54%. Также как и в обособленных зернах оливина, здесь в форстерите и энстатите наблюдается ожелезненная кайма (FeO 4-6%), обедненная примесями CaO и Al_2O_3 .

Чуть более железистый форстерит (FeO 2.5%) и энстатит (FeO 2%) встречаются в виде изометричного образования неправильной формы размером 400 мкм, в целом напоминающего хондру. Эта высокомагнезиальная хондра имеет неровные границы, во впадинах наблюдается аккреционная реголитовая кайма. По большей части образование сложено энстатитом с пойкилитовыми включениями форстерита, интерстиции между зернами энстатита заполнены плагиоклазовым стеклом. В отличие от описанных выше сростаний здесь форстерит содержит крайне низкие содержания «тугоплавких» CaO $< 0,05\%$ и $Al_2O_3 < 0,01\%$, при нормальных содержаниях MnO 0,4%. Энстатит также содержит CaO $< 0,25\%$ и $Al_2O_3 < 0,3\%$, Cr_2O_3 0,4-0,5%, MnO 0,3-0,4%.

В метеорите также встречены отдельные высокомагнезиальные хондры, имеющие как округлую, так и амебоидальную форму размером 100-300 мкм, состоящие из зерен высокомагнезиального энстатита (FeO 0,5-1,5%), интерстиции между которыми заполнены плагиоклазом. В таких хондрах местами присутствует, а местами отсутствует железистый оливин (FeO 11-13%). Доля плагиоклаза в интерстициях крайне мала по сравнению с обычными хондрами. Высокомагнезиальный энстатит в таких хондрах также содержит несколько повышенные примеси CaO до 0,6%, Al_2O_3 до 1,2% и TiO_2 до 0,2%, и пониженные примеси MnO.

Богатые форстеритом включения уже были найдены в матрице некоторых обыкновенных, углистых и R-хондритов, реликтовый высокомагнезиальный оливин найден в некоторых хондрах. Более 30 лет они рассматриваются преимущественно как ранние тугоплавкие включения [Steele, 1986, 1989, и др.], о чем в целом свидетельствуют и данные по изотопным отношениям кислорода [Pack et al., 2004, 2005, и др.]. Согласно наиболее общепринятым взглядам их формирование происходило в промежутке после образования богатых кальцием и алюминием включений (CAIs) и амебоидальных оливиновых агрегатов (AOAs), но ранее формирования хондр, хотя точные изотопные данные об их возрасте отсутствуют [Scott, Krot, 2014 и др.]. В метеорите Северный Колчим изучены богатые форстеритом включения и высокомагнезиальные хондры. Последние вполне

возможно являющиеся промежуточным звеном между тугоплавкими включениями и широко распространенными железо-магнезиальными хондрами.

Немаловажной особенностью фрагментов богатых форстеритом включений ($\text{FeO} < 2\%$), как в метеорите Северный Колчим, так и в других описанных в литературе метеоритах, является то, что они представлены преимущественно остроугольными обломками. Относительно целые объекты встречаются крайне редко. Очевидно, это связано с некими небулярными процессами на «дохондровой» стадии формирования Солнечной системы, приводившими к их более частым соударениям.

Автор благодарны сотрудникам Уральского геологического музея к.г.-м.н. Д.А. Клейменову и Е.В. Бурлакову за предоставленные для исследования метеориты. Авторы признательны за помощь в осуществлении приборно-аналитических исследований операторам А.В. Михеевой и к.г.-м.н. Л.В. Леоновой (ИГГ УрО РАН). Исследования проводятся при поддержке гранта РФФИ 17-05-00297.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берзин С.В. Ксенолит и микроксенолиты в метеорите Северный Колчим (НЗ) // Метеориты, астероиды, кометы. Материалы V конференции молодых ученых с международным участием «Метеориты. Астероиды. Кометы». Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2017. С. 26-29.
2. Pack A., Palme H., Shelley J.M.G. Origin of chondritic forsterite grains // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005. Vol. 69. P. 3159–3182.
3. Pack A., Yurimoto H., Palme H. Petrographic and oxygen-isotopic study of refractory forsterites from R-chondrite Dar al Gani 013 (R3. 5–6), unequilibrated ordinary and carbonaceous chondrites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004. Vol. 68. P. 1135–1157.
4. Scott E.R.D., Krot A.N. Chondrites and Their Components // *Treatise on Geochemistry*, 2nd Edition. Volume 1: Meteorites and Cosmochemical Processes. Elsevier Ltd., 2014. P. 65-137.
5. Steele I.M. Compositions and textures of relic forsterite in carbonaceous and unequilibrated ordinary chondrites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986. Vol. 50. P. 1379–1395.
6. Steele I.M. Compositions of isolated forsterites in Ornans (CO3) // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989. Vol. 53. P. 2069–2079.