

УДК 552.63+523.681.2

НАХОДКА ТУГОПЛАВКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МЕТЕОРИТЕ СЕВЕРНЫЙ КОЛЧИМ (НЗ)

С. В. Берзин*, К. С. Иванов, Е. В. Бурлаков

Представлено академиком РАН В.А. Коротеевым 30.03.2018 г.

Поступило 11.04.2018 г.

Впервые в метеоритах России были установлены тугоплавкие богатые форстеритом включения в метеорите Северный Колчим (НЗ). Богатые форстеритом включения встречаются преимущественно в углистых хондритах, их находки в обыкновенных хондритах крайне редки. Данные включения рассматриваются большинством исследователей как одни из наиболее ранних образований в Солнечной системе. Включения в метеорите Северный Колчим сложены высокомагнезиальным форстеритом (FeO 0,4–2,0%), содержащим повышенные примеси CaO 0,5–1,0%, Al₂O₃ до 0,4% и обеднённым примесью MnO. Местами форстерит находится в сростании с высокомагнезиальным энстатитом (FeO 0,5–2,5%), также содержащем примеси CaO до 0,5%, Al₂O₃ до 1,5% и примесь MnO ниже пределов обнаружения. Характерной особенностью богатых форстеритом включений является то, что в отличие от хондр они представлены по большей части остроугольными обломками, что, вероятно, обусловлено их относительно частыми соударениями.

Ключевые слова: метеорит, хондрит, тугоплавкие включения, богатые форстеритом включения, оливин, энстатит.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524876650-652>

Метеорит Северный Колчим был найден в 1965 г. в России недалеко от п. Северный Колчим в Пермском крае [1]. Метеорит имел вес около 2 кг и в настоящее время хранится в Уральском геологическом музее (г. Екатеринбург). Метеорит представлен неравновесным обыкновенным хондритом НЗ. В данном метеорите нами впервые для метеоритов России были найдены тугоплавкие богатые форстеритом включения (англ. refractory forsterite rich objects). Задача данного исследования — изучение состава минералов и особенностей строения богатых форстеритом включений метеорита Северный Колчим.

Изучение метеорита Северный Колчим производилось в ИГГ УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390LV фирмы “JEOL” с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 “Oxford Instruments” и на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX-100.

Метеорит Северный Колчим состоит из хондр и реголитовой матрицы. Размер хондр составляет 0,1–0,7 мм, что вполне типично для Н-хондритов по данным [2]. Преобладают порфиновые оливинные хондры (PO), в меньших количествах присутствуют порфиновые оливин-пироксеновые хондры

(POP); встречаются хондры с повышенной вкрапленностью троилита, а также присутствуют обломки вышперечисленных хондр. Метеорит в значительной степени подвергся земному выветриванию. Металл и троилит практически полностью окислены; метеорит пронизывают многочисленные тонкие прожилки гидроокислов железа; зёрна оливина и ортопироксена в матрице имеют ожелезнённые каймы. Степень выветривания W 4–5 по [4].

Большая часть найденных тугоплавких включений имеет размер около 50 мкм, остроугольную обломочную, реже округлую форму и сложена высокомагнезиальным форстеритом ($f = 0,004–0,2$ или 0,4–2,0% FeO). При этом форстерит содержит существенную примесь “тугоплавких” примесей CaO 0,50–0,98% и Al₂O₃ 0,11–0,37% (конденсировавшихся при более высоких температурах), и аномально пониженные содержания MnO (ниже пределов обнаружения микрозонда) (табл. 1). Всё это, по мнению ряда исследователей, является отличительной чертой ранних тугоплавких богатых форстеритом включений ([4–6] и др.). Почти все зёрна высокомагнезиального форстерита имеют реакционную ожелезнённую кайму, в которой содержания FeO увеличивается до 2–5%, содержания CaO и Al₂O₃ при этом уменьшаются ниже пределов обнаружения микрозонда. Такая зональность также является типичной для оливина из богатых форстеритом включений [4, 5, 7, 8].

Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург

*E-mail: sbersin@yandex.ru

Таблица 1. Состав форстерита из богатых форстеритом включений в метеорите Северный Колчим

№ ан.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Сумма	<i>f</i>
64	42,03	0,22	0,46	56,60	0,71	100,20	0,005
76	41,75	0,17	0,47	56,62	0,52	99,73	0,005
65	41,97	0,37	0,68	56,56	0,61	100,50	0,007
77	42,30	0,26	0,47	56,27	0,74	100,10	0,005
78	41,82	0,11	1,02	56,28	0,54	100,10	0,01
100	42,80	0,18	0,38	55,50	0,98	99,85	0,004
102	42,38	0,26	0,61	55,86	0,64	99,75	0,006
103	42,62	0,30	0,37	55,66	0,71	99,66	0,004
112	42,71	0,27	0,71	55,84	0,55	100,10	0,01
97	42,18	0,24	1,53	55,20	0,65	99,80	0,02

Примечание. Здесь и далее сумма Fe³⁺ и Fe²⁺ представлена в виде FeO.

Помимо обособленных зёрен оливина найдены единичные срастания высокомагнезиального форстерита (*f* < 0,01; CaO ~ 0,5%) и высокомагнезиального энстатита, имеющие преимущественно остроугольную обломочную форму и размер до 300 мкм (рис. 1). Энстатит в срастании с форстеритом имеет крайне низкую железистость FeO 0,5–2,5% и также обогащён “тугоплавкими” примесями CaO до 0,5%, Al₂O₃ до 1,5% и аномально пониженные содержания MnO (табл. 2). Встречены обособленные обломочные зёрна высокомагнезиального энстатита (*f* < 0,01) размером 40 мкм с содержаниями CaO 2,3%, Al₂O₃ 1,7%, TiO₂ 0,16%, Cr₂O₃ 0,5%, MnO — ниже пределов обнаружения. Так же как и в обособленных зёрнах форстерита, здесь в форстерите и энстатите наблюдаются ожелезнённые каймы (FeO 4–6%), обеднённые примесями CaO и Al₂O₃.

Помимо тугоплавких богатых форстеритом включений в метеорите Северный Колчим встречаются высокомагнезиальные хондры и богатые алюминием хондры. Высокомагнезиальные хондры имеют небольшой размер 100–400 мкм и часто неровную форму. Они сложены преимущественно энстатитом (FeO 0,5–3%) и в меньших количествах оливином

Таблица 2. Состав энстатита и находящегося с ним в срастании форстерита из богатых форстеритом включений в метеорите Северный Колчим

№ ан.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Сумма	<i>f</i>
101	59,39	0,32	0,63	1,81	0,20	37,92	0,22	100,50	0,03
108	59,10	0,55	0,55	2,48	0,13	36,96	0,36	100,10	0,04
110	57,78	1,68	0,54	0,72	0,13	36,50	2,33	99,84	0,01
106	42,77	0,16	—	0,70	—	55,45	0,47	99,55	0,01

Примечание. Анализы 101, 108, 110 — энстатит, 106 — форстерит. В анализе 110 присутствует примесь TiO₂ 0,16%.

(FeO 2,5–13%), обычно находящемся в виде пойкилитовых включений в энстатите, и незначительным количеством кислого плагиоклазового стекла. На границе энстатита и плагиоклазового стекла наблюдаются реакционные каймы, сложенные клинопироксеном. В отличие от тугоплавких включений, форстерит в высокомагнезиальных хондрах содержит крайне низкие содержания “тугоплавких” примесей CaO < 0,05% и Al₂O₃ < 0,01% при нормальных содержаниях MnO 0,4%. Высокомагнезиальный энстатит в таких хондрах содержит несколько повышенные примеси CaO до 0,6%, Al₂O₃ до 1,2% и TiO₂ до 0,2% и пониженные концентрации примеси MnO. При этом с повышением железистости содержание “тугоплавких” примесей снижается.

Таким образом, впервые для российских метеоритов в метеорите Северный Колчим были изучены тугоплавкие богатые форстеритом включения. Показано их сходство с богатыми форстеритом включениями, ранее описанными в углистых хондритах. Изучен состав высокомагнезиального энстатита, находящегося в срастании с форстеритом, показано его обогащение “тугоплавкими” примесями.

Богатые форстеритом включения ранее были найдены в матрице некоторых углистых и R-хондритов, реже в обыкновенных хондритах, реликтовый высокомагнезиальный оливин найден в некоторых хондрах [4, 5]. Более 30 лет они рассматрива-

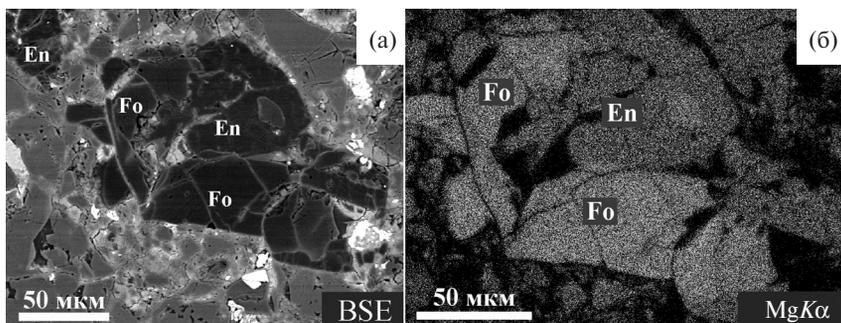


Рис. 1. Срастание форстерита и энстатита в тугоплавком богатом форстеритом включении в метеорите Северный Колчим. а — изображение в отражённых электронах (BSE), б — элементная карта распределения Mg (по интенсивности пика MgKα). En — высокомагнезиальный энстатит, Fo — высокомагнезиальный форстерит.

ются как ранние тугоплавкие включения, о чём в целом свидетельствуют и данные по изотопным отношениям кислорода ([6–8] и др.). Согласно наиболее общепринятым взглядам их формирование происходило в промежутке после образования богатых кальцием и алюминием включений (CAIs) и амёбоидальных оливиновых агрегатов (AOAs), но ранее формирования хондр, хотя точные изотопные данные об их возрасте отсутствуют ([6] и др.).

Немаловажной особенностью фрагментов богатых форстеритом включений в метеорите Северный Колчим является то, что они представлены преимущественно остроугольными обломками. Относительно целые объекты встречаются крайне редко. Очевидно, это связано с их относительно более частыми соударениями на “дохондровой” стадии формирования Солнечной системы.

Благодарности. Авторы благодарны аналитикам лаборатории ФХМИ Института геологии и геохимии УрО РАН А.В. Михеевой, С.В. Лепёха и Л.В. Леоновой.

Источник финансирования. Исследования проводятся при поддержке гранта РФФИ 17–05–00297.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Логонов В.Н.* Метеориты Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2004. 80 с.
2. *Jones R.H.* // *Meteoritics & Planet. Sci.* 2012. V. 47. № 7. P. 1176–1190.
3. *Wlotzka F.* // *Meteoritics.* 1993. V. 28. № 3. P. 460–460.
4. *Steele I.M.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1986. V. 50. P. 1379–1395.
5. *Steele I.M.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1989. V. 53. P. 2069–2079.
6. *Scott E.R.D., Krot A.N.* *Treatise on Geochemistry.* 2nd ed. *Meteorites and Cosmochemical Processes.* L.: Elsevier, 2014. P. 65–137.
7. *Pack A., Palme H., Shelley J.M.G.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 2005. V. 69. P. 3159–3182.
8. *Pack A., Yurimoto H., Palme H.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 2004. V. 68. P. 1135–1157.

FINDING THE REFRACTORY INCLUSIONS IN THE METEORITE SEVERNY KOLCHIM (H3)

S. V. Berzin, K. S. Ivanov, E. V. Burlakov

*A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS V.A. Koroteev March 30, 2018

Received April 11, 2018

For the first time refractory forsterite rich objects were installed in meteorites in the meteorite Severny Kolchim (H3). Refractory forsterite rich objects are found mainly in carbonaceous chondrites, their finds in ordinary chondrites are very rare. These inclusions are considered by most researchers as one of the earliest formations in the Solar System. The inclusions in the Severny Kolchim meteorite consist of high-magnesian forsterite (FeO 0,4–2%), CaO 0,5–1%, Al₂O₃ up to 0,4% and depleted by MnO. Some forsterite are intergrown with high-magnesian enstatite (FeO 0,5–2,5%), CaO up to 0,5%, Al₂O₃ up to 1,5% and depleted by MnO. A characteristic feature of forsterite-rich inclusions is that, unlike chondras, they are mostly represented by acute-angled fragments, which is probably due to their relatively frequent collisions.

Keywords: meteorite, chondrite, refractory inclusions, forsterite rich objects, olivine, enstatite.