

## РЕДКОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕТЕОРИТА КАРГАПОЛЬЕ

Суханова К.Г.<sup>1</sup>, Скублов С.Г.<sup>1,2</sup>, Галанкина О.Л.<sup>1</sup>, Котова Е.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, [cris.suhanova92@yandex.ru](mailto:cris.suhanova92@yandex.ru)

Метеорит Каргаполье был найден в 1961 году на лугу в Каргапольском районе Курганской области местным жителем Охапкиным А.С. Первое комплексное исследование метеорита, включавшее определение возраста К-Аг методом ( $4.25 \pm 0.15$  млрд лет), было проведено в скором времени после находки [Овчинников, Юдин, 1966]. Позднее был определен валовый химический состав метеорита [Харитоновна, 1969], изучены особенности термолюминесценции [Овчинников, Максенков, 1966], намагниченности [Гуськова, 1988] и термические характеристики метеорита [Коротеев и др., 1989]. Также недавно современными методами был дополнительно исследован минеральный состав метеорита, определен химический состав минералов и обнаружены новые для этого метеорита минералы, такие как диопсид, тетратэнит, хромовая шпинель, пентландит, хлорапатит и мериллит [Ерохин и др., 2015, 2016, 2017].

Метеорит Каргаполье относится к группе оливин-бронзитовых уравновешенных высокожелезистых обыкновенных хондритов (Н4). В настоящем исследовании анализ минералов метеорита Каргаполье выполнен методом SEM-EDS (JEOL JSM-6510LA с ЭД-спектрометром JED-2200, ИГГД РАН). Содержание редких и редкоземельных элементов (REE) в пироксене определено методом масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS) на ионном микрозонде Cameca

IMS-4f в ЯФ ФТИАН. Материал для исследования был предоставлен Горным музеем Санкт-Петербургского горного университета.

В метеорите были изучены оливин, низко-Са пироксен и плагиоклаз трех порфировых хондр POP-0, PO-2, POP-4 и примыкающей к ним матрицы метеорита. Хондры характеризуются довольно крупными размерами (около 1 мм в диаметре), сильной пористостью и трещиноватостью. Порфировые хондры POP-0 и POP-4 отличаются отсутствием металлической каймы и сложены оливинном и низко-Са пироксеном, интерстиции между которыми заполняет плохо раскристаллизованный мезостазис. Хондра PO-2 в центре сложена только оливинном и мезостазисом, но по краю с внутренней стороны хондры обрастает силикатной каймой низко-Са пироксена, а с внешней стороны имеет камасит-тэнитовую кайму.

Оливин в оливин-пироксеновых хондрах POP-0 и POP-4 присутствует в виде крупных идиоморфных зерен (200-300 мкм), имеет большое количество трещин и сильно корродирован. Оливин в хондре PO-2 представлен небольшими (50-100 мкм) гипидиоморфными зернами. В матрице метеорита Каргаполье оливин чаще всего представлен мелкими (100-150 мкм) сильно трещиноватыми гипидиоморфными зернами, однако, иногда встречаются и крупные (300 мкм) призматические вкрапленники.

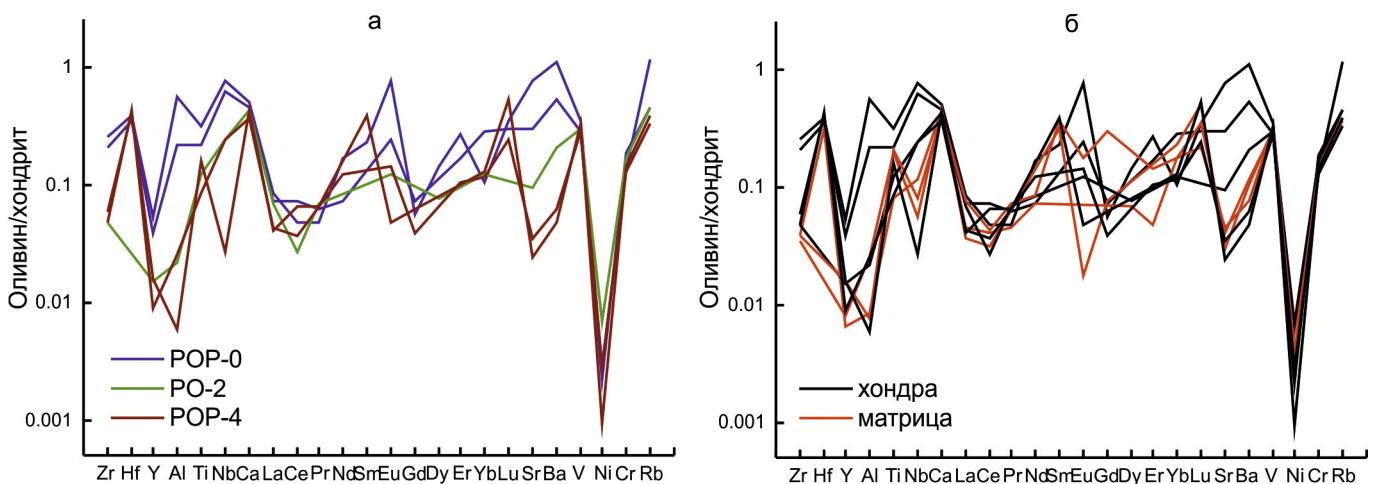


Рис. 1. Спайдер-диаграмма для редких элементов в оливине метеорита Каргаполье: (а) хондр POP-0, PO-2, POP-4; (б) хондр и матрицы

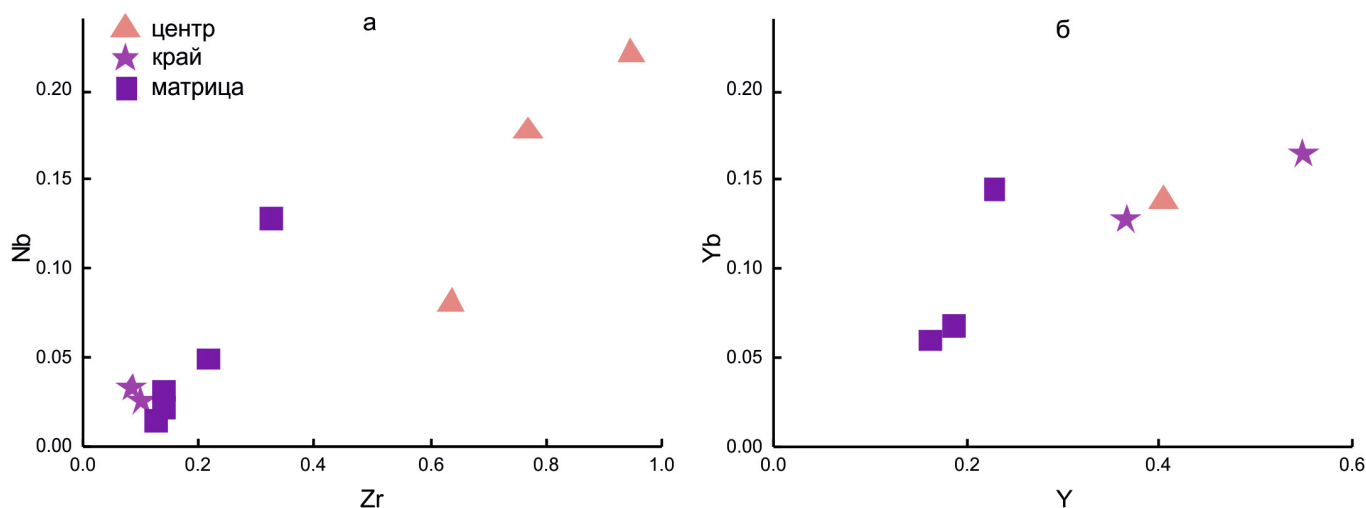


Рис. 2. Соотношение редких элементов (ppm) в оливине (а) и низко-Са пироксене (б) метеорита Каргаполье

Оливин метеорита Каргаполье по составу главных элементов соответствует форстериту (Fo 79-80). Содержание главных элементов в оливине исследуемых хондр и матрицы метеорита однородно и практически не варьирует.

Содержание редких элементов в оливине метеорита Каргаполье сильно варьирует от хондры к хондре (рис. 1а). Оливин хондры POP-0 обогащен рефракторными элементами (Zr, Y, Ti, Nb) и несовместимыми летучими элементами (Sr, Ba). Оливин хондры PO-2 отличается высоким содержанием Ni и REE. Оливин хондры POP-4 обеднен редкими элементами относительно оливина хондр POP-0 и PO-2.

В целом оливин порфиновых хондр в метеорите Каргаполье обеднен относительно хондритовых значений. Спектры распределения редких элементов в оливине хондр сильно дифференцированы и фракционированы (рис. 1а). Общей чертой оливина хондр POP-0, PO-2, POP-4 является преобладание HREE над LREE.

Также оливин матрицы метеорита Каргаполье несколько обогащен Yb (0.19 ppm в среднем) относительно оливина хондр (0.13 ppm в среднем). Кроме того, оливин центральных частей хондр отличается высокими содержаниями Nb и Zr относительно оливина краевых частей хондр и матрицы метеорита (рис. 2а). При этом характер распределения редких элементов в оливине хондр и матрицы метеорита (рис. 1б) сходен и отличается только небольшой обогащенностью оливина хондр рефракторными элементами (Al, Ti, Nb) и наименьшими содержаниями Eu в оливине матрицы метеорита.

Морфология низко-Са пироксена в метеорите Каргаполье довольно сильно различается от хондры к хондре. Низко-Са пироксен хондры POP-0 представлен небольшими (100-150 мкм) гипидиоморфными

зернами, которые чаще всего находятся в краевых частях хондры. Зерна низко-Са пироксена в хондре имеют тонкую кайму высоко-Са пироксена. Низко-Са пироксен хондры PO-2 представлен в виде ксеноморфных выделений по краю хондры и находится на границе между оливином и камасит-троилитовой каймой. Некоторые зерна низко-Са пироксена сильно раздроблены. Низко-Са пироксен в хондре POP-4 представлен небольшими гипидиоморфными зернами, равномерно распределенными по площади хондры.

Несмотря на различие морфологии низко-Са пироксенов хондр POP-0, PO-2, POP-4 и матрицы метеорита Каргаполье, по составу главных элементов низко-Са пироксен однороден и соответствует энстатиту (Fs 18-20, Wo 1).

Наблюдается небольшая обогащенность редкими элементами низко-Са пироксена хондры POP-0 относительно хондр PO-2 и POP-4 (рис. 3а). Также низко-Са пироксен хондры POP-4 отличается высокими значениями V и Zr и малым содержанием несовместимых летучих элементов (Sr, Ba). Низко-Са пироксен PO-2 в большей степени обогащен Ni относительно низко-Са пироксена других хондр метеорита Каргаполье.

Спектры распределения редких элементов в пироксене хондр субгоризонтальны и подобны (рис. 3а). Содержание редких элементов в пироксене метеорита близко к хондритовым значениям. Преобладание HREE над LREE характерно для низко-Са пироксена из всех изученных хондр и матрицы метеорита Каргаполье.

Низко-Са пироксен хондр отличается высоким содержанием Yb и Y (рис. 1б) и в большей степени обогащен рефракторными элементами относительно пироксена матрицы метеорита. В пироксене матрицы метеорита наблюдается отрицательная европиевая

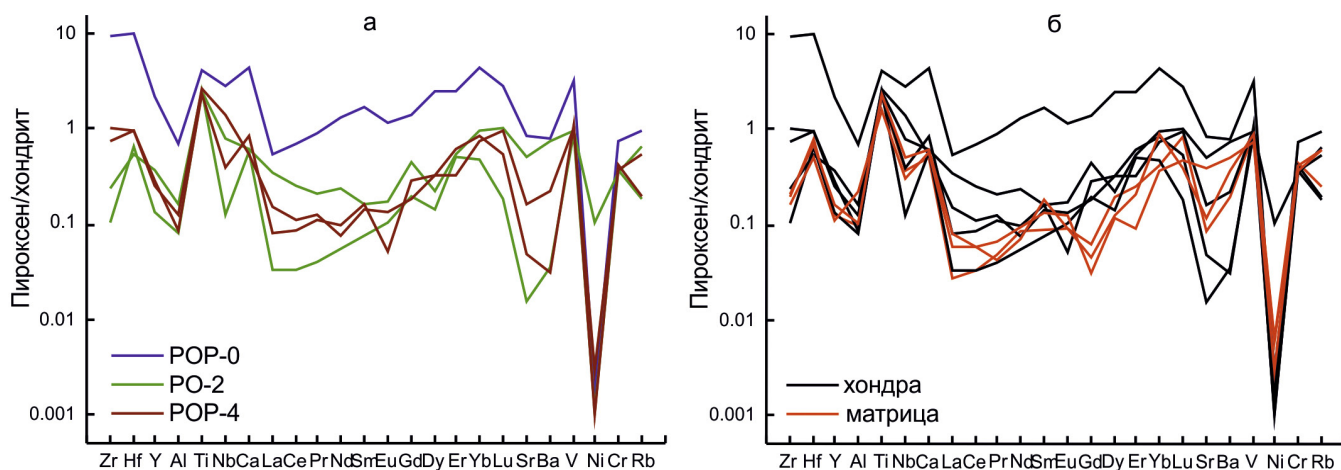


Рис. 3. Спайдер-диаграмма для редких элементов в низко-Са пироксене метеорита Каргаполье: (а) хондр POP-0, PO-2, POP-4; (б) хондр и матрицы

аномалия (рис. 3б). По содержанию рефракторных элементов пироксен краевой части хондр занимает промежуточное положение между обогащенным рефракторными элементами пироксеном центральной части хондра и обеднённым ими пироксеном матрицы метеорита.

Таким образом, в метеорите Каргаполье, несмотря на однородность содержания главных элементов, в оливине и низко-Са пироксене наблюдаются весьма значительные различия в содержании редких элементов. При этом наблюдаются различия в редкоэлементном составе силикатных минералов порфирированных хондр и матрицы метеорита Каргаполье. Оливин и низко-Са пироксен хондры POP-0 отличаются повышенными содержаниями редких элементов относительно силикатных минералов хондр PO-2 и POP-4 и матрицы метеорита Каргаполье. Также оливин и низко-Са пироксен хондр отличается от оливина и низко-Са пироксена матрицы метеорита по соотношению Nb и Zr в оливине и Yb и Y в низко-Са пироксене.

Повышенное содержание редких элементов в силикатных минералах хондры POP-0 относительно хондр PO-2 и POP-4 может являться признаком особых условий образования этой хондры. Обогащенность силикатных минералов хондр рефракторными несовместимыми элементами (Nb, Zr, Yb, Y) относительно силикатных минералов матрицы метеорита отражает образование хондр при большей скорости остывания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуськова Е.Г. О намагниченности каменных метеоритов, представленных находками // Метеоритика. 1988. Т. 47. С. 137–142.
2. Ерохин Ю.В., Берзин С.В., Иванов К.С., Бурлаков Е.В., Клейменов Д.А. Пентландит из некоторых уральских хондритов Н-типа // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. 2015. Т. 12. С. 40–45.
3. Ерохин Ю.В., Берзин С.В., Хиллер В.В., Иванов К.С. Пентландит из обыкновенных хондритов Урала // Литосфера. 2016. Т. 3. С. 139–146.
4. Ерохин Ю.В., Коротеев В.А., Хиллер В.В., Бурлаков Е.В., Иванов К.С., Клейменов Д.А. Метеорит «Каргаполье»: новые данные по минералогии // Доклады АН. 2017. Т. 477. № 5. С. 582–585.
5. Коротеев В.А., Петрищева В.Г., Логинов В.Н., Юдин И.А. Термические исследования хондритов // Метеоритика. 1989. Т. 48. С. 121–123.
6. Овчинников Л.Н., Максенков В.Г. Термолюминесценция некоторых каменных метеоритов // Метеоритика. 1966. Т. 27. С. 58–62.
7. Овчинников Л.Н., Юдин И.А. Исследование каменного метеорита Каргаполье // Метеоритика. 1966. Т. 27. С. 76–88.
8. Харитонов В.Я. Химический состав хондритов Каанде, Каргаполье, Dimmit, Chico и New Almelо из коллекции комитета по метеоритам АН СССР // Метеоритика. 1969. Т. 29. С. 91–93.