

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТОФИЛЬНЫХ И СИДРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗ НЕРАВНОВЕСНОГО ЭНСТАТИТОВОГО ХОНДРИТА АБЕЕ ЕН4

Лаврентьева З.А.¹, Люль А.Ю.¹, Лаврентьев М.Д.²

¹Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия, lavza@mail.ru

²Fern Universität in Hagen, Хаген, Германия, lawrence@bk.ru

Принято считать, что энстатитовые хондриты – наиболее восстановленное вещество в Солнечной системе. Это заключение подтверждается высоким отношением $Mg/(Mg + Fe)$ в оливине и пироксене, присутствием Si в Fe, Ni металле, наличием типичных литофильных элементов, таких как Ca, Mg, Mn и K в сульфидных минералах в энстатитовых хондритах [Weisberg et al., 2009]. Энстатитовые хондриты подразделяются на две основные группы – ЕН и ЕL, обоснованные высокой и низкой распространенностями Fe, Ni металла; обе группы проявляют метаморфическую последовательность от типа 3 до 6, сходную с таковой в обыкновенных хондритах [Baedecker, Wasson, 1975; Sears et al., 1982]. Со времени его первого описания [Dawson et al., 1960] метеорит Абее стал объектом более 31 исследования, сосредоточенных на брекчировании, на новом типе алмаза, найденного в энстатитовых хондритах [Russell et al., 1992], на решении вопроса, где образовалась обедненная кислородом среда [Clayton et al., 1984] и многих исследований, касающихся образования родительских тел метеоритов. Метеорит Абее представляет собой импактно-расплавленную брекчию, ЕН хондрит. Его внутренняя структура состоит из множества гранулированных разного размера кластов, окаймленных металлом, внедренных в темно-серую тонкозернистую основную массу. Проведено изучение химического состава немагнитных размерных фракций из энстатитового хондрита Абее ЕН4.

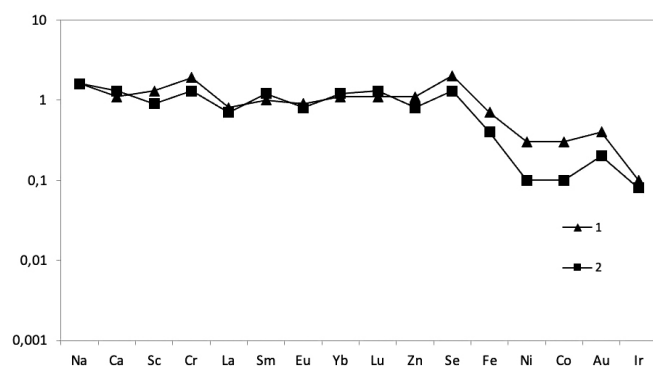


Рис. 1. Нормированные к CI хондритам содержания микроэлементов в немагнитных «тонкозернистых» фракциях, выделенных из энстатитового хондрита Абее. 1 – фракция (1<d<45 мкм); 2 – фракция (45<d<71 мкм)

Экспериментальная часть. Минеральные фракции были выделены вручную и с помощью физических методов сепарации. Определения содержаний элементов во фракциях проводились в Центральной лаборатории анализа вещества ГЕОХИ РАН оптимизированным вариантом инструментального нейтронно-активационного анализа. Метод разработан для анализа внеземного вещества [Колесов и др., 2001].

Результаты и их обсуждение. Все размерные немагнитные фракции в метеорите Абее обогащены тяжелыми редкоземельными элементами (РЗЭ) относительно легких $[(Lu/La)_F/(Lu/La)_{CI}]=1.2-3.0$ и имеют как положительные, так и отрицательные Eu аномалии $[(Eu/Sm)_F/(Eu/Sm)_{CI}]=0.7-1.4$. Основная часть редкоземельных элементов сконцентрировалась в немагнитных фракциях с размером зерен $1<d<45$ и $45<d<71$ мкм. Концентраторами редкоземельных элементов, по-видимому, являются акцессорные минералы, которыми наиболее обогащены тонкозернистые фракции.

Обогащение тонкозернистых фракций Na, Ca, Sc, Cr и РЗЭ (редкоземельными элементами) (рис. 1), возможно, связано с тем, что они содержат акцессорные минералы – плагиоклаз и сульфиды, которые являются концентраторами многих редких элементов.

Тонкозернистые фракции отличаются от других размерных фракций повышенными содержаниями РЗЭ, что может быть обусловлено процессами испарения и переконденсации тонкозернистых силикатных частиц в веществе матрицы в результате ударных процессов. В метеорите Абее наблюдается обогащение Zn, Na и Ca тонкозернистой фракции (<45 мкм). Вероятно, эта фракция содержит найинджерит и рихтерит. Летучий элемент Se ($2.0 \times CI$) показывает отчетливую тенденцию концентрироваться в этой фракции, что свидетельствует о взаимодействии тонкозернистой фракции с газовой фазой при относительно низкой температуре.

Среднезернистые фракции (рис. 2) обеднены тугоплавкими литофильными элементами: Ca ($0.6-0.8 \times CI$) и Sc ($0.9 \times CI$), легкими и тяжелыми РЗЭ – La ($0.6 \times CI$); Sm ($0.5-0.7 \times CI$); Eu ($0.6-0.7 \times CI$); Yb ($0.6-0.8 \times CI$); Lu ($0.6-0.8 \times CI$) и обогащены нетугоплавкими летучим Na ($1.0-1.2 \times CI$) и нелетучим Cr ($1.4-1.5 \times CI$).

Близкие по средним значениям распространенности ($0.2-0.6 \times CI$) для «нормальных» сидерофильных

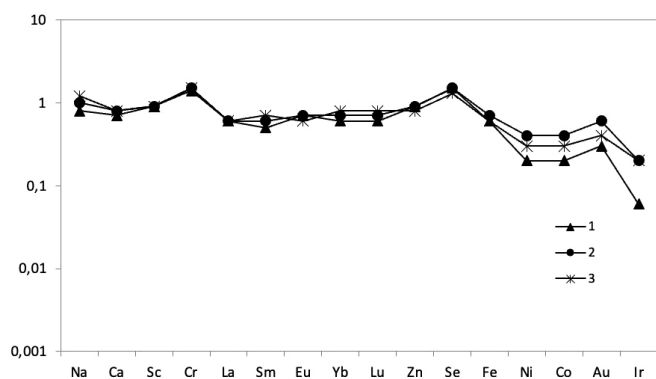


Рис. 2. Нормированные к CI хондритам содержания микроэлементов в немагнитных «среднезернистых» фракциях, выделенных из энстатитового хондрита Абее. 1 – фракция ($71 < d < 100$ мкм); 2 – фракция ($100 < d < 160$ мкм); 3 – фракция ($160 < d < 260$ мкм)

элементов Ni и Co и тугоплавкого Ir и летучего Au наблюдаются во всех среднезернистых фракциях, свидетельствующие об отсутствии сильного фракционирования между сидерофильными элементами, что характерно для частиц, не перенесших фракционную кристаллизацию. Такая распространенность сидерофильных элементов позволяет сделать предположение о первичности состава металла, включенного в силикаты этих фракций.

Одной из особенностей распределения тугоплавких элементов в самой крупной немагнитной фракции размером >360 мкм является соотношение $(\text{Sc}/\text{Ca})_{\text{ф}}/(\text{Sc}/\text{Ca})_{\text{CI}} = 1.0$, соответствующее CI хондритам. Такое распределение высокотемпературных элементов Sc и Ca с близкой температурой конденсации свидетельствует об отсутствии фракционирования этих элементов в веществе-предшественнике.

В отличие от других фракций, в «крупнозернистых» немагнитных фракциях (рис. 3) наблюдается обеднение как летучими элементами – Na ($0.3\text{--}0.4 \times \text{CI}$); Zn ($0.4\text{--}0.7 \times \text{CI}$); Se ($0.8 \times \text{CI}$), так и тугоплавкими литофильными – Ca ($0.6\text{--}0.7 \times \text{CI}$); Sc ($0.6 \times \text{CI}$) и РЗЭ: La, Sm, Eu ($0.2 \times \text{CI}$) и Yb ($0.3\text{--}0.4 \times \text{CI}$) и Lu ($0.3\text{--}0.6 \times \text{CI}$). При фракционировании РЗЭ в сторону обогащения тяжелыми редкоземельными элементами $(\text{Lu}/\text{La})_{\text{Абее}}/(\text{Lu}/\text{La})_{\text{CI}} = 1.5\text{--}3.0$ наблюдаются положительные Eu аномалии: $(\text{Eu}/\text{Sm})_{\text{фракции}}/(\text{Eu}/\text{Sm})_{\text{CI}} = 1.0$. В немагнитных крупнозернистых фракциях по сравнению с другими фракциями наблюдается обогащение всеми сидерофильными элементами: Fe ($2.2\text{--}2.8 \times \text{CI}$); Ni ($2.8\text{--}3.7 \times \text{CI}$); Co ($2.9\text{--}3.9 \times \text{CI}$); Au ($3.7\text{--}5.4 \times \text{CI}$), кроме Ir ($0.1\text{--}0.2 \times \text{CI}$).

Заключение. На основании особенностей распределения литофильных и сидерофильных элементов в гранулометрических фракциях энстатитового

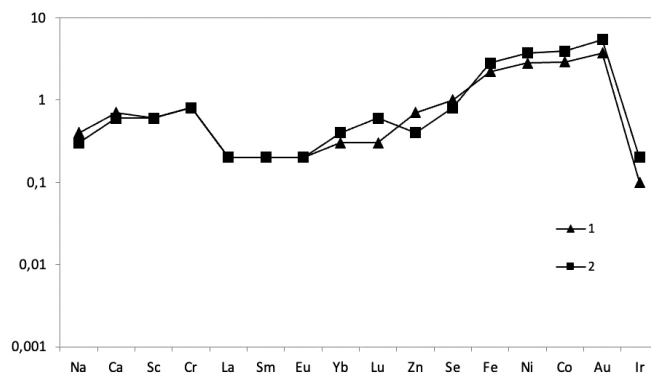


Рис. 3. Нормированные к CI хондритам содержания микроэлементов в немагнитных «крупнозернистых» фракциях, выделенных из энстатитового хондрита Абее. 1 – фракция ($260 < d < 360$ мкм); 2 – фракция (>360 мкм)

хондрита Абее ЕН4 сделано предположение, что основное распределение микроэлементов происходило при небулярном фракционировании. Процессы метаморфизма и ударное переплавление вещества метеорита также сыграли существенную роль в перераспределении микроэлементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесов Г.М., Шубина Н. А., Люль А.Ю. Оптимизация инструментального нейтронно-активационного анализа взвешенного вещества: фрагментов лунных пород, метеоритов, хондр и ультратугоплавких включений // Журнал аналитической химии. 2001. Т. 56. № 11. С. 1169–1172.
2. Baedeker P.A. and Wasson J.T. Elemental fractionations among enstatite chondrites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1975. V. 38. P. 735–765.
3. Clayton R.N., Mayeda T.K. and Rubin A.E. Oxygen isotopic compositions of enstatite chondrites and aubrites // Journal of geophysical research. 1984. V. 89. P. 245–C249.
4. Dawson K.R., Maxwell J.A., Parsons R.E. A description of the meteorite which fell near Abee, Alberta, Canada // Geochim. Cosmochim. Acta. 1960. V. 21. P. 127–144.
5. Russell S.S., Pillinger C.T., Arden J.W., Lee M.R., Ott U. A new type of meteoritic diamond in the enstatite chondrite Abee // Science. 1992. V. 256. P. 206–209.
6. Sears D.W., Kallemeyn G.W., Wasson I.T. The compositional classification of chondrites II. The enstatite chondrite groups // Geochim. Cosmochim. Acta. 1982. V. 46. P. 597–608.
7. Weisberg M.K., Ebel D.S., Connolly H.C.Jr., Kita N.T., Ushikubo T. Petrologic-geochemical study of chondrules in enstatite chondrites // Program with abstracts of the 40th Lunar and Planetary Science Conference. Woodlands, Texas, USA, March 23–27 2009. P. 1886.