

## ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ НЕРАВНОВЕСНОГО ЭНСТАТИТОВОГО ХОНДРИТА ADHI KOT EH4

Лаврентьева З.А., Люль А.Ю.

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

Энстатитовые хондриты были образованы в безводных, сильно восстановительных условиях, которые основательно отличаются от таковых в обыкновенных и углистых хондритах. Они содержат графит и Si обогащенное металлическое железо, и для них характерны очень низкие содержания окисленного железа, высокие распространенности сидерофильных элементов, высокая модальная распространенность камасита; сульфидные фазы содержат элементы, которые являются литофильными при окислительных условиях [Rubin, 2008]. Энстатитовые хондриты подразделяются на высокожелезистую EH и низкожелезистую EL группы [Sears et al., 1982]. В настоящей работе представлены данные о составе минеральных фракций энстатитового хондрита Adhi Kot EH4, которые рассматриваются с позиции космохимической истории EH хондритов.

**Образцы и методы исследования.** Мы исследовали фракции акцессорных минералов: кристобалита ( $\text{SiO}_2$ ), оливина  $(\text{Mg,Fe})_2[\text{SiO}_4]$ , желтого пироксена  $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ , сфалерита (ZnS), осборнита (TiN) и шрейберзита  $(\text{Fe,Ni,Co})\text{P}$  из неравновесного энстатитового хондрита Adhi Kot EH4. Минеральные фракции были выделены вручную и с помощью физических методов сепарации. Определения содержания элементов во фракциях проводились в Центральной лаборатории анализа вещества ГЕОХИ РАН оптимизированным вариантом инструментального нейтронно-активационного анализа. Метод разработан для анализа внеземного вещества [Колесов, 2001].

**Результаты и их обсуждение.** Анализ полученных данных химического состава во фракциях

акцессорных минералов показал что:

В кристобалитах (фракции А и В) (рис. 1) наблюдаются значительные вариации в содержаниях литофильных и сидерофильных элементов. В «мелкозернистой фракции» кристобалита (А) обнаружено обогащение РЗЭ с явным преобладанием тяжелых элементов -  $[(\text{Lu/La})_A/(\text{Lu/La})_{CI}] = 1.5$  и отрицательная Eu аномалия  $[(\text{Eu/Sm})_A/(\text{Eu/Sm})_{CI}] = 0.8$ . «Крупная фракция» кристобалита (В) обогащена легкими РЗЭ  $[(\text{La/Lu})_B/(\text{La/Lu})_{CI}] = 2.9$  и имеет положительную Eu аномалию  $[(\text{Eu/Sm})_B/(\text{Eu/Sm})_{CI}] = 1.5$ . В распределении La относительно Sm в кристобалитах наблюдается некоторое фракционирование, проявляющееся в обогащении La фракции кристобалита В -  $[(\text{La/Sm})_B]/[(\text{La/Sm})_A] = 5.4$ . Отношение  $(\text{Ir/Au})_{A,B}/(\text{Ir/Au})_{CI}$  в кристобалитах варьирует от 1.1 – 16.6, что свидетельствует о небулярном фракционировании этих элементов в этих фракциях. Фракция кристобалита А имеет отношение  $[(\text{Ir/Ni})_A/(\text{Ir/Ni})_{CI}]/[(\text{Au/Ni})_A/(\text{Au/Ni})_{CI}] = 16.6$ , большее, чем космическое (космическое – 3.44). Повышенная распространенность Ir относительно Au позволяет предположить об образовании «мелкозернистой фракции» кристобалита при совместной агломерации компонентов обогащенных тугоплавким металлом Ir с компонентами, содержащими нетугоплавкий металл Au.

В светло-зеленом оливине (фракция С) содержание Са на порядок выше, чем в темно-зеленом оливине (фракция D) (рис. 2). Содержания сидерофильных элементов в низко-кальциевом оливине выше, чем в высоко-кальциевом оливине. Возможно, уровень содержания Са является индикатором тепловой

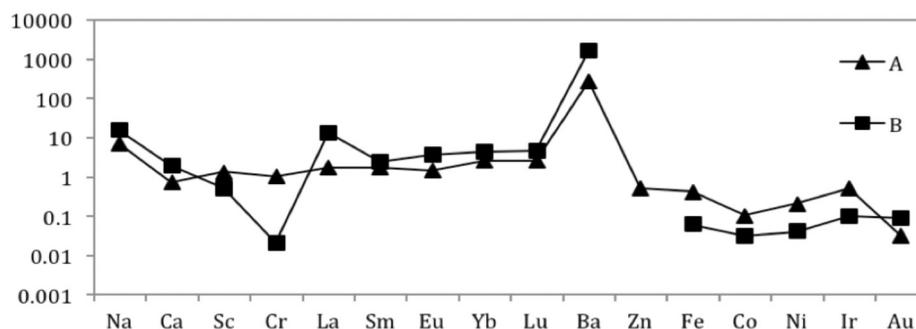


Рис. 1. Нормированные к CI хондритам содержания микроэлементов в акцессорных минералах из энстатитового хондрита Adhi Kot EH4: А – мелкозернистая фракция кристобалита; В – крупнозернистая фракция кристобалита

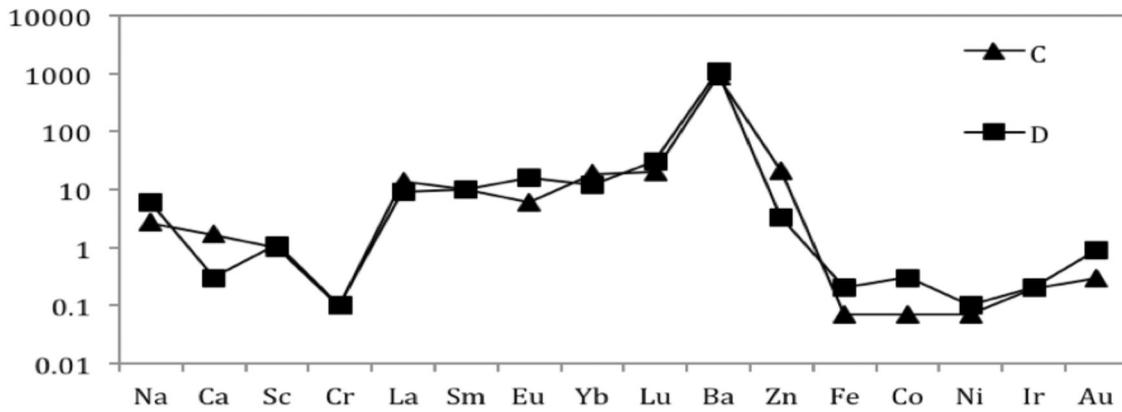


Рис. 2. Нормированные к CI хондритам содержания микроэлементов в оливинах из энстатитового хондрита Adhi Kot EH4: C – светло-зеленый оливин; D – темно-зеленый оливин

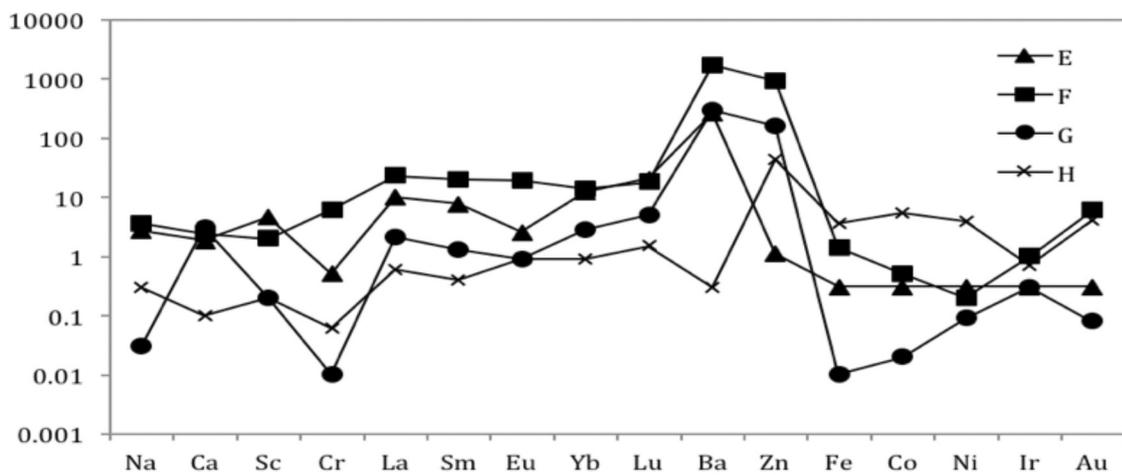


Рис. 3. Нормированные к CI хондритам содержания микроэлементов в акцессорных минералах из энстатитового хондрита Adhi Kot EH4: E – желтый пироксен; F – сфалерит; G – осборнит; H – шрейберзит

истории оливинов. Во фракциях оливина обнаружено обогащение РЗЭ с явным преобладанием тяжелых РЗЭ –  $[(Lu/La)_{C,D}/(Lu/La)_{CI}] = 1.4$  и  $3.3$ , соответственно, с отрицательной и положительной Eu аномалиями  $[(Eu/Sm)_{C,D}/(Eu/Sm)_{CI}] = 0.8$  и  $1.6$ , соответственно. Для светло-зеленого оливина характерно более высокое соотношение  $[(La/Sm)_C/(La/Sm)_{CI}] = 1.4$ , чем для темно-зеленого оливина –  $0.9$ . В светло-зеленом и темно-зеленом оливинах наблюдается обеднение легкими РЗЭ –  $[(La/Lu)_{C,D}/(La/Lu)_{CI}] = 0.7$  и  $0.3$ , соответственно.

В желтом пироксене (фракция E) (рис. 3) наблюдается значительно более высокое содержание тугоплавкого элемента Sc по сравнению с таковым в других акцессорных минералах. В пироксене обнаружено обогащение РЗЭ с явным преобладанием тяжелых РЗЭ элементов –  $[(Lu/La)/(Lu/La)_{CI}] = 2.0$  и самая низкая отрицательная Eu аномалия –  $[(Eu/Sm)_E/(Eu/Sm)_{CI}] = 0.3$ . Одной из особенностей распределения элементов в желтом пироксене является то, что отношение сидерофильных элементов с разными температурами конденсации к никелю

$[(Fe,Co,Ir,Au/Ni)_E/(Fe,Co,Ir,Au/Ni)_{CI}] = 1.0$ , которое свидетельствует о равномерном распределении этих элементов.

Сфалерит (фракция F) (рис. 3) обогащен тугоплавкими литофильными элементами Ca, Sc, РЗЭ, Ba и нетугоплавким элементом Na. Одной из особенностей распределения элементов в сфалерите являются высокие содержания Cr, Au и РЗЭ по сравнению с их содержаниями в других акцессорных минералах. В сфалерите обнаружено обогащение РЗЭ с явным преобладанием легких РЗЭ –  $[(La/Lu)_F/(La/Lu)_{CI}] = 1.3$  и отрицательной Eu аномалией  $[(Eu/Sm)_F/(Eu/Sm)_{CI}] = 0.95$ . Другой особенностью распределения элементов в сфалерите является высокие распространенности Co, Ir и Au относительно Ni –  $[(Co,Ir,Au/Ni)_F/(Co,Ir,Au/Ni)_{CI}] = 2.5; 5.0; 12$ , соответственно.

Одной из особенностей распределения элементов в осборните (фракция G) (рис. 3) являются низкие содержания Cr, Fe, Ni, Co и Au относительно таковых в других акцессорных минералах. Распространенность тугоплавкого сидерофильного элемента Ir выше рас-

пространенностей нетугоплавких сидерофильных элементов Ni, Co и Au. Другой особенностью распределения элементов в осборните является высокие распространенности Ca относительно Sc –  $[(Ca/Sc)_G/(Ca/Sc)_{CI}] = 15.5$ ; Ni относительно Co –  $[(Ni/Co)_G/(Ni/Co)_{CI}] = 4.5$ ; Ir относительно Au –  $[(Ir/Au)_G/(Ir/Au)_{CI}] = 3.7$  и низкие распространенности Na относительно K –  $[(Na/K)_G/(Na/K)_{CI}] = 0.06$  и Fe относительно Ni –  $[(Fe/Ni)_G/(Fe/Ni)_{CI}] = 0.09$ .

*Шрейберзит* (фракция H) (рис. 3) обогащен сидерофильными элементами Fe, Ni, Co и Au и обеднен Ir. В шрейберзите из энстатитового хондрита Adhi Kot EH4 наблюдается отрицательная Sm аномалия, где она ассоциирует с отрицательными Eu и Yb аномалиями. Сходные распределения Sm, Eu и Yb наблюдались в энстатите из неравновесных энстатитовых хондритов [Hsu, Crozaz, 1998]. Возможно, что фракция H содержит зерна энстатита. Одной из особенностей распределения элементов в шрейберзите является то, что соотношение между иттербием и европием в нем соответствует таковому в CI хондритах  $[(Yb/Eu)_H/(Yb/Eu)_{CI}] = 1.0$ .

**Заключение.** На основании полученных данных об особенностях микроэлементного состава акцессорных минералов в энстатитовом хондрите Adhi Kot

EH4 сделано заключение, что небулярное фракционирование, процессы метаморфизма и ударные процессы сыграли существенную роль в распределении микроэлементов в минералах метеорита EH группы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колесов Г.М., Шубина Н.А., Люль А.Ю. Оптимизация инструментального нейтронно-активационного анализа внеземного вещества: фрагментов лунных пород, метеоритов, хондр и ультратугоплавких пород // ЖАХ. 2001. Т.56. №11. С. 1169–1172.
2. Hsu W., Crozaz G. Mineral chemistry and the origin of enstatite in unequilibrated enstatite chondrites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. V. 62. P. 1993–2004.
3. Rubin A.E. Geochemical, mineralogical and petrological relationships in enstatite chondrites // Lunar Planet. Sci. Conf. XXXIX. 2008. #1114.
4. 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.