

Элементный состав гранулометрических фракций металла энстатитовых хондритов АДНІ КОТ ЕН4 и ПИЛИСТВЕРЕ ЕL6: поиск признаков ударно - индуцированного фракционирования элементов

А. Ю. Люль, З. А. Лаврентьева, Г. М. Колесов

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

Получено 31 марта 2010; опубликовано 5 июня 2010.

Для оценки влияния метаморфических и ударных процессов на химический состав Fe,Ni-фазы энстатитовых хондритов методом ИНАА определено содержание Ni, Co, Cu, Ga, Au, As и Ir в фракциях металла размером 260-160, 160-100, 100-71, 71-45 и <45 мкм энстатитовых хондритов с различными ударно-термическими историями: неравновесной ударно - расплавленной брекчии Adhi Kot EN4 и равновесном хондрите Пилиствере EL6, претерпевшем слабое постметаморфическое ударное воздействие. Анализ данных по содержанию сидерофильных элементов в гранулометрических фракциях металла показал, что наблюдаемое обогащение тугоплавким Ir относительно более летучих элементов фракции металла размером <45 мкм Adhi Kot EN4 является следствием ударной переработки вещества хондрита. Отсутствие признаков ударного перераспределения элементов в металле хондрита Пилиствере EL6 свидетельствует, что тренды распределения элементов между гранулометрическими фракциями металла в этом хондрите определялись действием метаморфических, а не ударных процессов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энстатитовые хондриты; Fe-Ni-фаза; гранулометрические фракции; элементный состав; ударные и метаморфические процессы; фракционирование элементов

Ссылка: Люль А. Ю., З. А. Лаврентьева, Г. М. Колесов (2010), Элементный состав гранулометрических фракций металла энстатитовых хондритов АДНІ КОТ ЕН4 и ПИЛИСТВЕРЕ ЕL6: поиск признаков ударно - индуцированного фракционирования элементов, *Вестник ОНЗ РАН*, 2, NZ6023, doi:10.2205/2010NZ000041, 2010

Введение

Образованные в сильно восстановительных условиях энстатитовые хондриты и ахондриты (обриты), содержащие ряд уникальных для земных пород сульфидов и имеющие идентичный изотопный состав O2, сильно различаются по степени ударной переработки родительского вещества метеоритов, содержанию в них металлического и общего железа, а также по наблюдаемым трендам фракционирования сидерофильных элементов в металле метеоритов [Watters and Prinz, 1979; Rubin et al., 1997; Kong et al., 1997, Casanova et al., 1993; Lyul et al., 2007; Wänke et al., 1970]. Установлено, что металл EN и EL хондритов имеет практически одинаковые тренды распределения нормированных к С1-хондритам распространенностей сидерофильных элементов, различающиеся только по степени обогащения металла летучими элементами [Kong et al., 1997]. Данные по химическому составу металла обритов свидетельствуют о более сложной картине фракционирования элементов по сравнению с металлом E-хондритов. Так, распределение сидерофильных элементов в крупных нодулях металла обритов соответствует таковому для металла E- хондритов [Casanova et al., 1993]. Однако тонкозернистый металл, выделенный из силикатных фракций обритов Norton County и Песьяное, сильно (~30x) обеднен тугоплавким иридием относительно более летучих элементов [Lyul et al., 2007; Wänke et al., 1970]. Такой тип фракционирования элементов по летучести характерен для магматических групп железных метеоритов, образованных в процессе фракционной кристаллизации металла в родительских телах [Scott, 1978]. Более слабое (~2x) обеднение иридия также отмечено в металлической частице, выделенной из ударно-расплавленного класта хондрита Abee EN4 [Sears,

ЛЮЛЬ И ДР.: ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ МЕТАЛЛА

1983]. Следовательно, ударные процессы, протекавшие на ранней стадии эволюции вещества метеоритов, могли привести и к существенному изменению первичного состава металла хондритов.

С целью поиска следов фракционирования сидерофильных элементов в энстатитовых хондритах, обусловленного действием ударных процессов, получены данные по содержанию Ni, Co, Cu, Ga, Au, As и Ir в гранулометрических фракциях металла хондритов Adhi Kot EH4 и Пилиствере EL6, имеющих различные ударно-метаморфические истории: слабо метаморфизованный хондрит Adhi Kot EH4 является ударно - расплавленной брекчией, тогда как вещество хондрита Пилиствере EL6 претерпело сильное до-метаморфическое и слабое постметаморфическое ударное воздействие [Rubin *et al.*, 1997].

Методика анализа

Металл был выделен путем мягкого дробления исходного вещества хондритов в яшмовой ступке под слоем этилового спирта с последовательным просеиванием на ситах размером 260-160, 160-100, 100-71, 71-45 и <45 мкм. Ручным магнитом и магнитной иглой полученные фракции сепарировали на магнитные и немагнитные фазы, начиная с наименьшего по размерам сита. Выделенный металл многократно вручную очищался иглой от примесей посторонних фаз с постоянным контролем его чистоты под микроскопом МБС-2. Содержание элементов в фракциях металла определялось методом ИНАА. Обработку полученных гамма-спектров и расчет концентраций элементов в исследуемых образцах проводили по комплексной программе «Образ». В качестве стандартов использовались образцы железных метеоритов Сихотэ-Алинский, Чинге и Бодайбо с известным содержанием микроэлементов в их металлической фазе [Лаврухина и др., 1974]. Погрешность определения элементов составляла 4-5% для Ni, Co, Cu и Au и 7-10% для As, Ga и Ir.

Результаты и их обсуждение

Данные по содержанию элементов в отдельных фракциях металла хондритов Adhi Kot EH4 и Пилиствере EL6 приведены таблице, а нормированные к CI-хондритам распространенности элементов - на рис. 1.

Таблица 1. Содержание элементов в гранулометрических фракциях металла хондритов Adhi Kot EH4 и Пилиствере EL6 (Fe, Ni в %, другие элементы - мкг/г)

Размер	Adhi Kot EH4					Пилиствере EL6				
	Размер фракций, мкм					Размер фракций, мкм				
	260-160	160-100	100-71	71-45	<45	260-160	160-100	100-71	71-45	<45
Fe	91	90	87	88	90	91	91	92	88	89
Ni	7.4	8.3	8.2	7.6	8.9	6.7	6.6	6.2	7.3	7.8
Co	3490	3360	3530	3390	3240	3640	3950	3640	3630	3570
Au	1.51	1.27	1.56	1.84	1.48	1.14	1.26	1.19	1.26	1.25
As	27	22.3	24.2	26.5	20.0	12.5	13.7	15.4	13.1	15.7
Cu	1196	910	960	990	710	85	90	95	130	205
Ga	72.4	74.2	86.7	88.8	57.2	54	53	52	55	51
Ir	1.76	1.84	2.32	2.66	3.52	2.7	2.1	2.3	2.4	2.6

ОТНОСИТЕЛЬНО СИ ХОНДРИТОВ

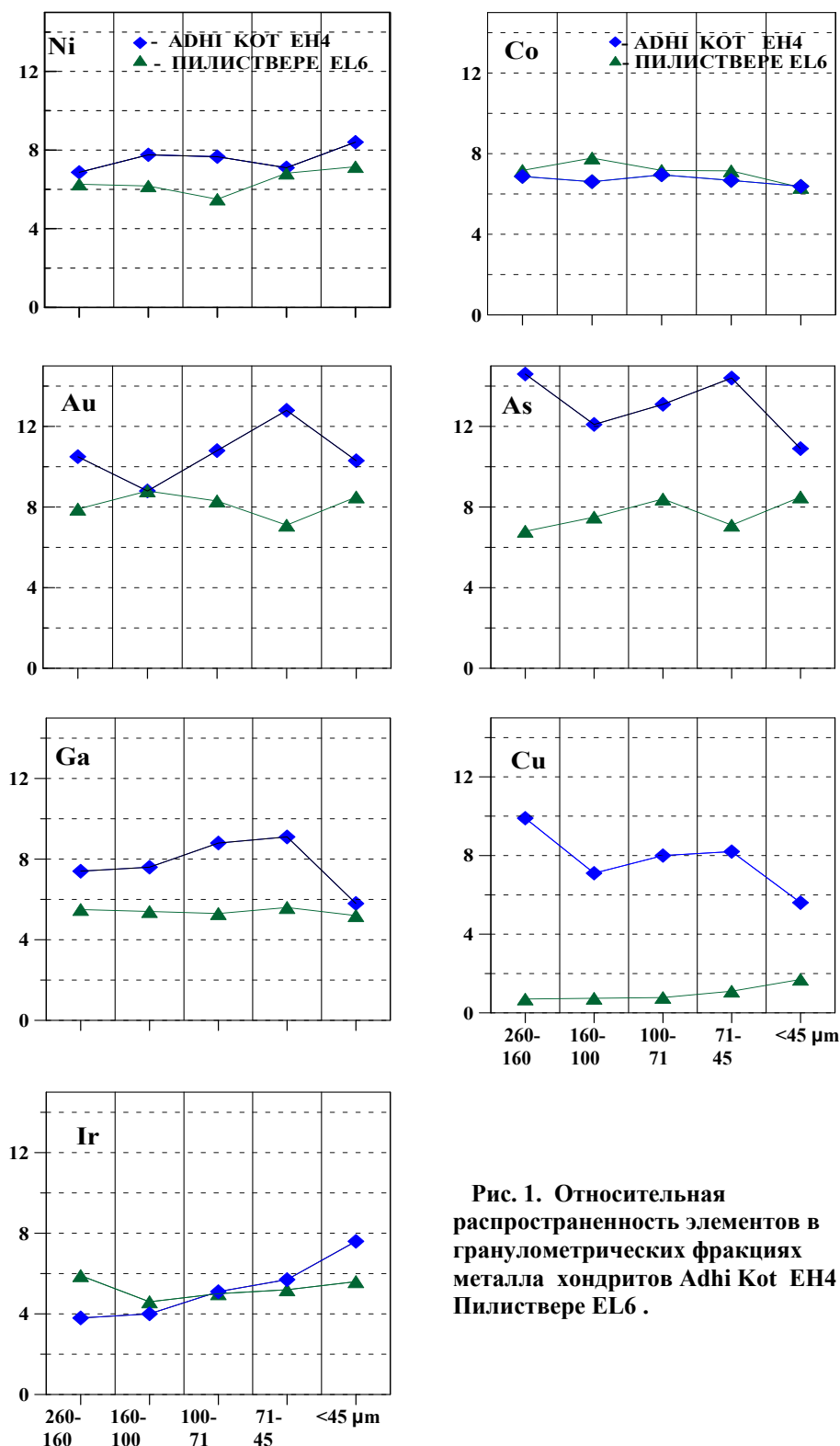


Рис. 1. Относительная распространенность элементов в granulометрических фракциях металла хондритов Adhi Kot EH4 и Pilištvere EL6 .

Из данных по содержанию элементов (табл.) и трендам фракционирования элементов (рис.1) в granulометрических фракциях металла хондритов следует:

а) распределение элементов в грубозернистых (260-160 и 160-100 мкм) фракциях металла хондритов Adhi Kot EH4 и Пилиствере EL6 соответствует таковому для валовых проб металла хондритов EH и EL групп [Kong *et al.*, 1997]: содержание умеренно летучих Ni, Cu, Ga, Au и As выше, а Ir ниже (за исключением более мелкозернистых фракций) в металле EH хондрита Adhi Kot, чем в металле EL-хондрита Пилиствере, а содержание Co слабо зависит от петрологического типа хондрита;

б) повышенное содержание Ni и пониженное Co в фракциях металла хондритов размером <45 мкм обусловлено присутствием в тонкозернистом металле высоко- Ni камасита [Rambaldi and Cendales, 1980];

в) при переходе к более мелким фракциям содержание Ir в металле Adhi Kot увеличивается, тогда как в металле Пилиствере вариации его содержания не связаны с размером фракций.

Четкая взаимосвязь между содержанием и размером частиц металла наблюдается для меди. Причем, с уменьшением размера фракции содержание Cu в металле хондрита Adhi Kot EH4 уменьшается, а в металле Пилиствере EL6 - увеличивается. Такое распределение меди в металле хондритов возможно обусловлено двойственностью ее геохимических свойств. В зависимости от условий, она ведет себя как сидерофильный или халькофильный элемент. Менее четко взаимосвязь содержания с размером частиц металла проявляется для Au и As. Зависимость содержания элементов в металле хондритов от размера частиц обусловлена, в основном, их перераспределением между отдельными компонентами хондритов в процессе термального метаморфизма.

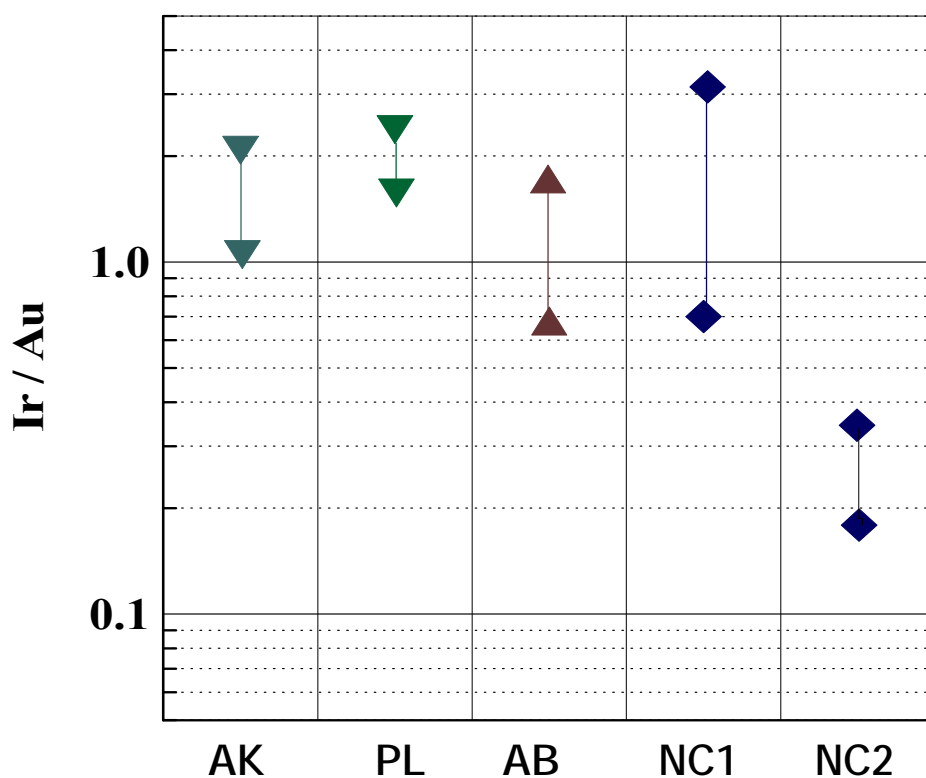


Рис. 2. Вариации отношения Ir/Au в металле энстатитовых метеоритов.

Условные обозначения: АК и PL - гранулометрические фракции хондритов Adhi Kot EH4 и Пилиствере EL6 (таб. 1,2); АВ - гранулометрические фракции и металлическая частица из ударно-расплавленной брекчии хондрита Abee EH4 (данные Sears, 1983; Rambaldi and Cendales., 1980); NC1 и NC2 - нодулы (n=9) и тонкозернистый металл (n=3) обрита Norton County (данные Casanova *et al.*, 1993; Lyul *et al.*, 2007; Wänke *et al.*, 1970).

Только наблюдаемое фракционирование элементов по летучести в мелкозернистом (<45 мкм) металле ударно-расплавленной брекчии Adhi Kot может быть обусловлено действием ударных

процессов. Относительно более крупнозернистых фракций этот металл обогащен тугоплавким Ir и обеднен более летучими Ni, Au, As и Ga, что свидетельствует о частичном испарении последних в процессе ударного нагрева. Такой тренд фракционирования элементов по летучести в металле хондрита противоположен тренду, наблюдаемому в тонкозернистом металле обритов, который обеднен Ir и обогащен Ni, Au, As по сравнению с крупными металлическими нодулями, соотношения элементов в которых близки к хондритовым [Casanova *et al.*, 1993]. Различия в степени фракционирования элементов по летучести в энстатитовых хондритах и ахондритах (на примере фракционирования между тугоплавким Ir и умеренно летучим Au) хорошо видны на Рис. 2.

Как следует из рис. 2, вариации отношения Ir/Au в металле равновесного Пилиствере EL6 меньше, чем в металле неравновесного хондрита Adhi Kot EH4, что может быть обусловлено сложной ударной историей хондрита равновесных энстатитовых хондритов. Установлено [Rubin *et al.*, 1997], что протовещество EL6 хондритов претерпело сильную ударную переработку на аккреционной (или на начальной стадии метаморфизма) стадии эволюции, следы которой были практически полностью уничтожены последующим метаморфическим нагревом в родительском теле хондритов. Последующее слабое (S2) постметаморфическое ударное воздействие на хондрит Пилиствере не привело к заметному фракционированию элементов по летучести. Более заметные различия в величине отношения Ir/Au наблюдаются в металле двух EH4 хондритов Adhi Kot и Abee, где для хондрита Abee включены данные по содержанию Ir и Au в частице металла из ударно-расплавленного класта [Sears *et al.*, 1983; Rambaldi and Cendales, 1980]. Однако наиболее сильно элементы фракционированы по летучести в тонкозернистой фракции металла обритов [Casanova *et al.*, 1993; Lyul *et al.*, 2007], которая значительно обеднена тугоплавким иридием относительно более летучих сидерофильных элементов. Такой тренд фракционирования элементов предполагает кристаллизацию металла из расплава или из пара, обедненного тугоплавкими элементами.

Различия в степени фракционирования элементов в энстатитовых хондритах и ахондритах обусловлены разной интенсивностью ударных процессов, протекавших на родительских телах метеоритов. Менее интенсивные ударные процессы на родительских телах хондритов привели только к частичному испарению более летучих сидерофильных элементов, тогда как в интенсивных ударных процессах на родительском теле обритов тонкозернистый металл образовался в процессе фракционной кристаллизации из расплава, обедненного тугоплавкими элементами, или же в результате вторичной конденсации элементов из ударно-фракционированного пара.

Заключение

Наблюдаемое обеднение летучими элементами тонкозернистого металла неравновесных энстатитовых хондритов свидетельствует о существенном влиянии ударных процессов на химический состав отдельных компонентов хондритов. Однако тренды перераспределения элементов в ударных процессах могут быть сглажены последующим термальным метаморфизмом вещества хондритов.

Литература

- Лаврухина, А.К., А. Ю. Люль, Л. Л. Пелекис (1974), О распределении некоторых сидерофильных элементов в железных метеоритах, *Известия Академии Наук Латв. ССР*, № 3, 3-11.
- Casanova, I., K. Keil, H. E. Newsom (1993), Composition of metal in aubrites: Constraints on core formation, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 675-682.
- Kong, P., T. Mori, M. Ebihara (1997), Compositional continuity of enstatite chondrites and implications for heterogeneous accretion of the enstatite chondrites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 4895-4914.
- Lyul, A. Yu., Z. A. Lavrentjeva, G. M. Kolesov (2007), Trace element fractionations in metal of aubrites, *Lunar and Planet. Sci.*, XXXVIII, #1059.pdf.
- Rambaldi, E.R., M. Cendales (1980), Siderophile element fractionation in enstatite chondrites, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 48, 325-334.

- Rubin, A. E., E. R. D. Scott, K. Keil (1997), Shock metamorphism of enstatite chondrites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 847-858.
- Scott, E. R. (1978), Primary fractionation of elements among iron meteorites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 1447-1458.
- Sears, D. W., G. W. Kallemeyn, J. T. Wasson (1983), Composition and origin of clasts and inclusions in and inclusions in the Abee enstatite chondrite, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 62, 180-192.
- Wänke, H., F. Wlotzka, E. Jagoutz, F. Begemann (1970), Composition and structure of metallic particles in lunar "fines", *Proc. Apollo II Lunar Sci. Conf.*, V. 1, 931-935
- Watters, T. R., M. Prinz (1979), Aubrites: Their origin and relationship to enstatite chondrites, *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf. 10th*, 1073-1093.

А. Ю. ЛЮЛЬ, З. А. ЛАВРЕНТЬЕВА, Г. М. КОЛЕСОВ Учреждение Российской академии наук
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, ул. Косыгина 19, 119991
Москва, Россия, факс: +7 495 938 20 54 тел: +7 495 939-18-38, e-mail: ajull@mail.ru