Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 3

АСТРОНОМИЯ

А. А. ЯВНЕЛЬ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТОВ И ПРОБЛЕМА ПРОИСХОЖДЕНИЯ МЕТЕОРИТОВ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 29 I 1955)

Ввиду того что структура метеоритов зависит как от условий ее образования, так и от исходного химического состава метеоритного вещества, исследование вещественного состава следует начинать с выяснения закономерностей химического состава, а затем уже — и структуры, соответствующие определенным установленным таким образом типам метеоритов.

Систематизации химического состава метеоритов посвящен ряд работ, из которых следует отметить большую работу Юри и Крейга [1] по каменным метеоритам. Вместе с тем, особый интерес представляет обобщение данных по химическому составу железных метеоритов, так как никелистое железо встречается в виде включений в каменных метеоритах, что позволяет выяснить наличие связи между этими основными классами метеоритов.

До последнего времени обзорные работы по составу железных метеоритов сводились главным образом к определению среднего содержания основных составляющих в никелистом железе всех железных метеоритов [2, 3] или их отдельных структурных типов [4, 5]. Однако средние величины не позволяют выяснить наличие возможных закономерностей в распределении различных элементов в метеоритном железе.

С этой целью автором была произведена статистическая обработка многочисленных данных химического анализа железных метеоритов по содержанию в них основной примеси — никеля. Результаты ее нанесены на график (рис. 1, *ж*) распределения числа метеоритов (падений и находок) по концентрации никеля (через каждые 0,2%). Содержание никеля было взято из каталога Прайора и Хея [6] и дополнено данными некоторых последних работ. Всего были использованы результаты 458 анализов 357 железных метеоритов. При этом не допускался какой-либо специальный отбор данных — при наличии нескольких цифр для одного и того же метеорита предпочтение отдавалось более поздним анализам.

Рассмотрение графика показывает, что никель, содержание которого в метеоритном железе колеблется в широких пределах от 4 до 60%, распределен неравномерно, вследствие чего это распределение нельзя описать одной вероятностной или просто симметричной кривой. Как следует из графика, железные метеориты по распределению никеля в первом приближении можно разделить на 5 групп: I группа (около 90 метеоритов) — от 4 до 7% Ni с резким максимумом при 5,6% Ni; II группа, наиболее многочисленная (свыше 200 метеоритов — от 5,5 до 11% Ni с максимумом около 8 % Ni; III группа (около 50 метеоритов) — от 8 до 20 % Ni со средним содержанием около 14% Ni; IV группа, представленная всего пятью метеоритами,— от 20 до 40% Ni; кроме того, имеется два метеорита, содержащих около 60% Ni. Эти группы отличаются также по

своей ширине, увеличивающейся с повышением концентрации никеля; в некоторых интервалах концентраций они частично перекрываются.

Построением аналогичных графиков для каждого структурного типа железных метеоритов было установлено, что в I группу входят все гексаэдриты и бедные никелем атакситы, большинство весьма грубоструктурных и часть грубоструктурных октаэдритов. II группа состоит в основном из среднеструктурных октаэдритов, а также большинства грубоструктурных и тонкоструктурных октаэдритов. В III группу входят весьма тонкоструктурные октаэдриты и богатые никелем атакситы, а в IV и V группы — только богатые никелем атакситы.

Сравнивая структуры железных метеоритов одинакового состава, но принадлежащих к различным группам (в области перекрытий), можно установить их различие, возникшее под влиянием разных условий образования этих структур. Так, например, октаэдриты II группы, содержащие от 8 до 11% Ni, имеют более грубую структуру, чем весьма тонкоструктурные октаэдриты и богатые никелем атакситы того же состава, которые входят в III группу. Это указывает на то обстоятельство, что метеориты II группы находились более длительное время при высоких температурах в двухфазной области. Подобное явление могло быть обусловлено как более медленным застыванием сплава, так и повторным его нагревом. В последнем случае мы будем иметь дело с метаморфизованной структурой. Более определенные выводы о причинах некоторых особенностей структур железных метеоритов различных групп можно сделать, рассматривая именно метаморфизованные структуры.

Таблица 1

I группа		II группа		III группа		IV группа	
тип	число	тип	число	тип	число	тип	число
Bu	4	Ck	4	Cck	1	Am	3
Chl	2	Cck	2	Cc	6	K	4
Cek	5	Cc	12	Cs	1	Cc	3
		Cs	2	Cg	13	Cg	1
		Cg	12	Ci	7	Cw	1
		Ci	1	Cw	15		
		Cw	1				

Наибольшую степень метаморфизма имеют метеориты I группы, так как около 30% из них — бедные никелем атакситы — имеют признаки нагрева до высоких температур (около 800° при нормальных условиях) в виде диффузии фосфидов. Среди октаэдритов II группы встречается небольшое число (1—2%) так называемых метаболитов, у которых имеются признаки метаморфизма, возникшего при более низкой температуре (около 600°). Наконец, в структуре метеоритов III—V групп не обнаружено признаков существенного метаморфизма.

Таким образом, разделение железных метеоритов на несколько групп по составу подтверждается также их структурными особенностями, характерными для каждой группы. Рассмотрение возможных причин подобной дифференциации никелистого железа по составу показывает, что она не могла произойти в сплаве, находящемся в одной массе. Действительно, даже если рассматривать только две первые, наиболее отчетливо выраженные группы, их разделение необъяснимо ни в твердой, ни в жидкой фазах. В свое время делались попытки представить гексаэдриты как одну из составляющих (камасит) октаэдритов. Однако, не говоря уже о ничтожно малой вероятности подобного выделения из сплава при низкой температуре огромных масс определенного состава, гексаэдриты по содержанию никеля (5,6%) отличаются от камасита октаэдритов, который по данным химических ([7]) и рентгенографических ([3]) исследований и измерения микротвердости ([9]) содержит Ni свыше 6%.

В жидкой фазе также не могло быть причин для такого резкого расслоения по составу. Если даже допустить в железо-никелевом расплаве

ликвацию по удельному весу, то и она могла бы привести лишь к непрерывному изменению состава.

Отсюда следует, что железные метеориты должны были образоваться не в одном теле, а по крайней мере в пяти телах или группах тел.

Переходя к составу никелистого железа в каменных метеоритах, следует отметить, что в итоге ряда работ наиболее распространенный тип метеоритов этого класса, хондриты, по химическому составу можно разделить на четыре группы. Впервые подобное разделение произвел Прайор ([10]) по отношению MgO : FeO в магнезиальных силикатах, хотя в своей последней классификации ([11]) он оставил три группы хондритов, объединив две последние группы в одну. Юри и Крейг ([1]) на основании наиболее достоверных результатов анализов 94 хондритов выяснили, что имеется отчетливое различие в общем содержании Fe у двух основных групп хондритов, из которых выделяются еще две группы. Более резкая разница между всеми четырьмя группами наблюдается по количеству в них никелистого железа. После того как содержание никеля в металлической части хондритов каждой из этих групп было нанесено на график (рис. 1, *к*), оказалось, что эта величина согласуется с составом приведенных выше основных четырех групп железных метеоритов. Кроме того, на график было нанесено содержание Ni в никелистом железе углистых хондритов (К) и некоторых типов ахондритов — буститов (Bu), хладнитов (Chl) и амфотеритов (Am), для которых имелись данные о составе никелистого железа, благодаря чему была найдена их принадлежность к той или иной группе.

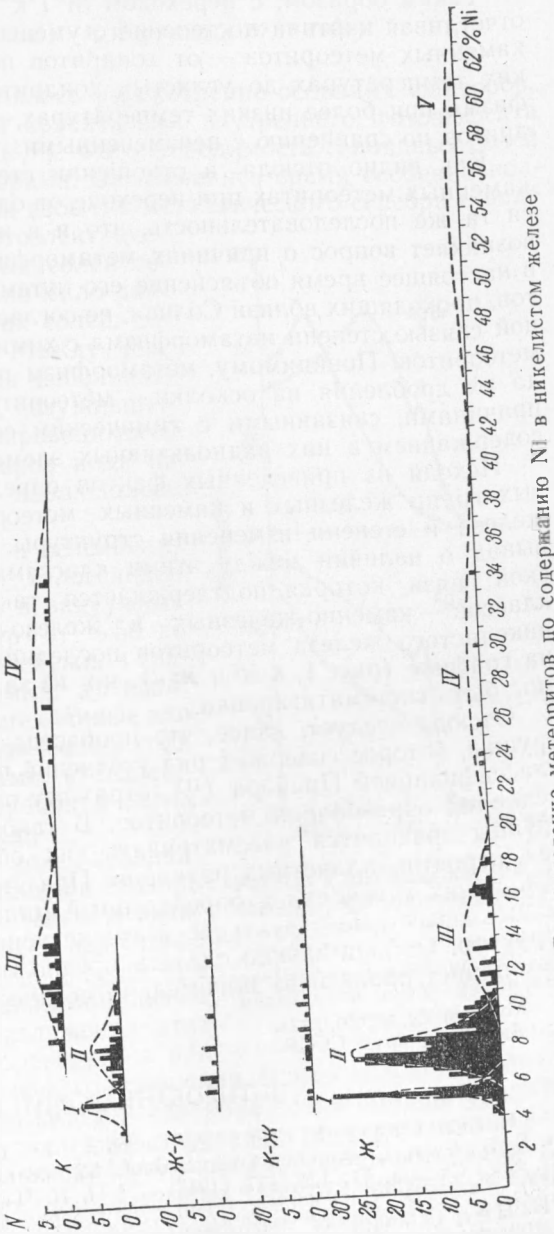


Рис. 1. Распределение метеоритов по содержанию Ni в никелистом железе

Из графика видно, что II и III группы, в отличие от соответствующих групп железных метеоритов, не имеют резкой разницы в количестве и, кроме того, больше перекрывают друг друга. В табл. 1 приведено распределение по группам каменных метеоритов различных структурных типов.

Из табл. 1 видно, что каменные метеориты различных групп имеют

отличие и по структуре. Например, хондриты II и III групп разнятся по таким признакам, как соотношение между количеством белых (Cw) и серых (Cg) хондритов, отличающихся числом хондр. Еще более резкая разница между группами наблюдается по степени метаморфизма хондритов, входящих в них. В I группу входят только кристаллические хондриты энстатитового типа (Cek); во II группе, наряду с кристаллическими (Ck) и шариковыми кристаллическими (Cck) хондритами, имеются шариковые хондриты (Cc); III группа состоит из шариковых кристаллических и шариковых хондритов и, наконец, в IV группе присутствуют углистые и шариковые хондриты.

Таким образом, с переходом от I к IV группе наблюдается довольно отчетливая картина постепенного уменьшения как степени метаморфизма каменных метеоритов — от хондритов перекристаллизованных при высоких температурах до углистых хондритов, имеющих признаки метаморфизма при более низких температурах,— так и числа измененных хондритов по сравнению с неизмененными.

Как видно отсюда, в отношении степени метаморфизма структур в каменных метеоритах при переходе от одной группы к другой наблюдается та же последовательность, что и в железных метеоритах. При этом возникает вопрос о причинах метаморфизма структур, так как принятое в настоящее время объяснение его путем нагревания отдельных метеоритов, проходящих вблизи Солнца, не согласуется с наблюдаемой закономерной связью степени метаморфизма с химическим составом больших групп метеоритов. Повидимому, метаморфизм происходил еще в крупных телах до их дробления на осколки — метеориты и определялся внутренними причинами, связанными с химическим составом этих тел, может быть, содержанием в них радиоактивных элементов.

Исходя из приведенных фактов определенного соответствия отдельных групп железных и каменных метеоритов по составу никелистого железа и степени изменения структуры, можно прежде всего сделать вывод о наличии между этими классами метеоритов тесной генетической связи, которая подтверждается также наличием промежуточных классов — каменно-железных и железо-каменных метеоритов. Состав никелистого железа метеоритов последних двух классов также показан на графике (рис. 1, *к-ж* и *ж-к*), но из-за недостаточной статистики не мог быть систематизирован.

Отсюда следует, далее, что произведенное разделение метеоритов на группы, которое содержит ряд уточнений по сравнению со сходной с ним классификацией Прайора ([11]), отражает определенные закономерности в условиях образования метеоритов. В таком случае метеориты каждой группы приходится рассматривать как обломки крупных космических тел, вероятно планетных размеров. При этом, в процессе эволюции этих тел, в них установился определенный минералогический состав, образовались известные структуры, а также успел пройти метаморфизм этих структур. Отсюда можно сделать предположение, что дробление указанных планет произошло значительно позднее их образования.

Комитет по метеоритам
Академии наук СССР

Поступило
22 I 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] H. C. Urey, H. Craig, Geochim. et Cosmochim. Acta, 4, 36 (1953). [2] H. S. Brown, C. Patterson, J. Geol., 55, 508 (1947). [3] R. P. Graham, J. Roy. Astr. Soc. Canada, 41, 129, 177 (1947). [4] П. Н. Чирвинский, Метеоритика, 5, 39 (1949). [5] J. D. Buddhue, Popular Astronomy, 54, 149 (1946). [6] G. T. Prior, M. H. Hey, Catalogue of Meteorites, London, 1953. [7] E. P. Henderson, Am. Mineralogist, 26, 546 (1941). [8] E. A. Owen, B. D. Burns, Phil. Mag., (7), 28, 497 (1939). [9] F. K. Dalton, J. Roy. Astr. Soc. Canada, 44, 1, 185 (1950); 45, 162 (1951). [10] G. T. Prior, Mineral Mag., 18, 26 (1916). [11] G. T. Prior, Mineral. Mag., 19, 51 (1920).