

Д-644



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5731/2-81

23/11-81

P14-81-550

Г.И.Доливо-Добровольская, В.Д.Коломенский,
Л.К.Левский, Д.Лхагвасурэн, О.Отгонсурэн,
В.П.Перелыгин, С.Г.Стеценко, Д.С.Ядав,
А.П.Шарма

О ДОАТМОСФЕРНЫХ РАЗМЕРАХ
МЕТЕОРИТА ТУГАЛЫН БУЛЕЕН

Направлено на XVIII Метеоритную конференцию
/Черноголовка, 15-18 сентября, 1981г./

1981

Метеорит Тугалын Булеен наблюдался в полете непосредственно перед падением в 1972 году. Его полная масса составила 2,9 кг. Основная масса метеорита хранится в г. Улан-Баторе, в Государственном музее естествознания, малый фрагмент - в Краеведческом музее Средне-Гобийского района. Этот метеорит относится к группе оливиново-бронзитовых хондритов. Можно утверждать, что он подвергся перекристаллизации, но в отличие от большинства хондритов не испытал шокового метаморфизма при прохождении плотных слоев атмосферы.

В оливинах из метеорита Тугалын Булеен фаялит составляет $17,6 \pm 0,5\%$, то есть эти оливины близки по составу к оливинам палласита Игл Стейшн.

В кристаллах ортопироксена содержится $15,6 \pm 0,5\%$ ферросилита. В силикатной фракции метеорита имеются также микрокристаллы полевого шпата, отличающегося большой изменчивостью химического состава /от 4-5% до 12-14% олигоклаза/.

На первом этапе исследований было проведено измерение содержания урана в этом метеорите. Вещество метеорита, взятое из различных локализаций, тщательно измельчалось и помещалось в пакеты из лавсановой пленки. Затем эти пакеты облучались потоком тепловых нейтронов на реакторе ИБР-30 ОИЯИ. Индикатором потока тепловых нейтронов служил калиброванный слой естественного урана толщиной $0,13 \text{ мкг/м}^2$, нанесенный на никелевую подложку. Этот слой также помещался в пакет из лавсана и облучался одновременно с исследуемым веществом. Травление слоев лавсана производилось в 25% NaOH при 60°C в течение 2 часов. На лавсане, находившемся в контакте со слоем урана, измерение плотности треков проводилось под микроскопом при увеличении $250\times$; исходя из известной эффективности регистрации лавсана, $\epsilon = 88,6\%$, толщины слоя урана и сечения деления урана-235 тепловыми нейтронами, мы определили поток тепловых нейтронов, который оказался равным $1,1 \pm 0,1 \cdot 10^{16} \text{ н/см}^2$.

Просмотр слоев лавсана, находившегося в контакте с веществом метеорита Тугалын Булеен, производился при увеличении $450\times$, подсчитывались треки осколков деления на всей площади каждого детектора. Эффективно работающий слой $R_{\text{эфф}}$ для этого метеорита с учетом его химического состава был рассчитан по формуле ^{2,3/}:

$$R_{\text{эфф.0}} = (0,046 \sum_{i=1}^N a_i Z_i + 0,78) \text{ мг/см}^2,$$



где a_i - атомная концентрация i -го элемента, Z_i - его атомный номер, $0,78 \text{ мг/см}^2$ - экспериментальная константа. Для исследовавшихся нескольких проб метеорита концентрация урана была заключена в пределах $1,6-2,5 \cdot 10^{-8} \text{ г/г}$, что удовлетворительно согласуется с данными о концентрации урана для целого ряда других хондритов^{/4/}.

Трековая методика определения доатмосферных размеров метеоритов была впервые использована при реконструкции метеоритов Сан-Северин^{/5/} и Патвар^{/6/}. Она основывается на независимых определениях радиационного возраста метеорита^{/7/} и измерениях плотности треков ядер группы железа в силикатных кристаллах, отобранных из различных локализаций метеорита.

В работах^{/5,8/} приведены зависимости скорости накопления треков от глубины расположения силикатных кристаллов /пироксенов/ за один миллион лет радиационной истории. Как показано в работах^{/9,10/}, для оливинов необходимо учесть поправочный коэффициент $1,6-2,4$, учитывающий их более низкую чувствительность к заряженным частицам, и эффект частичной термической регрессии древних треков. Радиационный возраст метеорита Тугалын Булеен был установлен по измеренной концентрации космогенного изотопа ^{21}Ne . С этой целью из небольшой навески метеорита /около $0,3 \text{ г}$ / в вакуумной печи извлекались инертные газы. После очистки содержание изотопов неона измерялось с помощью масс-сепаратора MS-10. Концентрация изотопа ^{21}Ne оказалась равной $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{г}$. Радиационный возраст этого метеорита при использовании данных работы^{/11/} был найден равным $\approx 7,1 \cdot 10^6$ лет. Для проведения трековых исследований отбирались пробы из участков, находящихся на поверхности и внутри двух фрагментов метеорита Тугалын Булеен. Количество вещества, использованное для исследования, не превышало $0,2-0,3 \text{ г}$ для каждой локализации. Далее вещество метеорита измельчалось в порошок с размером зерен $0,1-0,3 \text{ мм}$, и под стереомикроскопом проводился отбор прозрачных кристаллов оливина и пироксена. Эти кристаллы монтировались в эпоксидную смолу, шлифовались и полировались. Травление кристаллов оливина проводилось в травителе, предложенном в работе^{/12/}, в который было добавлено четыре части щавелевой кислоты вместо одной; pH травителя доводился до $7,85 \pm 0,05$. Травление осуществлялось герметически замкнутых тefлоновых сосудах при температуре 100°C в течение $24-36$ часов. Такая процедура обеспечивала выявление протяженных треков ядер с $Z > 40$ с углом раствора конуса $30'-40'$ в оливинах метеорита Тугалын Булеен. Травление кристаллов пироксена производилось в растворе сухого натра и воды, смешанных в пропорции 1:1, при температуре кипения смеси в течение $60-90 \text{ ч}$. Диаметр треков ядер группы железа на протравленных кристаллах составлял $1-2 \text{ мкм}$.

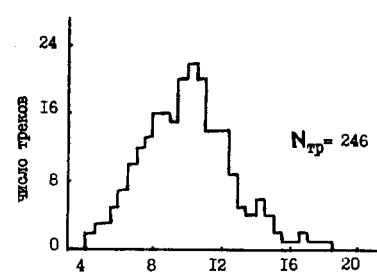


Рис.1. Распределение длин треков ядер группы железа в оливинах.

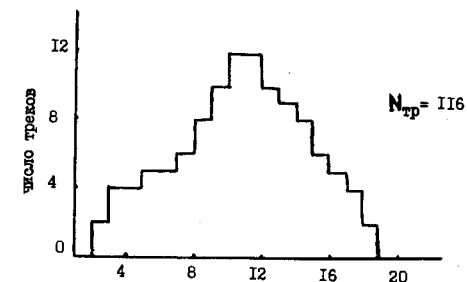


Рис.2. Распределение длин треков ядер группы железа в пироксенах.

Определение плотности треков и измерение спектров длин треков ядер группы железа производилось для этих кристаллов на микроскопе с помощью масляных иммерсионных объективов при увеличении $1600-2400\times$. При измерении спектров длин треков использовались методы "трек в треке" и "трек в трещине"^{/8/}. Распределения длин треков ядер группы железа для оливинов и пироксенов из метеорита Тугалын Булеен приведены соответственно на рис.1,2. Как следует из этих рисунков, средняя длина треков ядер группы железа в оливинах составляет около 8 мкм , в пироксенах - $10,2 \text{ мм}$. Таким образом, термическая регрессия треков в космических условиях в этом метеорите сопоставима с отжигом, имевшим место для метеорита Липовский Хутор^{/13/}.

Результаты измерения плотности треков ядер группы железа в оливинах и пироксенах большого и малого фрагментов метеорита Тугалын Булеен приведены в таблице. Как следует из этой таблицы, плотность треков в оливинах изменяется от $1,63 \cdot 10^6$ для локализации 3 до $6,14 \cdot 10^6$ для локализации 3-1 малого фрагмента. Плотность треков ядер с $Z \geq 36$, определенная в некоторых локализациях, составляла $\sim 2-5 \cdot 10^8$ треков/ см^2 , что соответствует отношению $N_{Z \geq 36} / N_{\text{Fe}} \approx 10^{-3}$. Это относительно большие плотности треков, если учесть, что радиационный возраст метеорита Тугалын Булеен составляет всего $7,1 \text{ млн. лет}$. В этой же таблице приведены плотности треков ядер группы железа в пироксенах. Как следует из таблицы, отношение плотности треков ядер группы железа в пироксенах и оливинах равно $\approx 1,8$, что удовлетворительно согласуется с данными по такому же соотношению плотности треков в метеоритах Кейс^{/9/}, Эллеген^{/10/}, а также в лунном реголите^{/8/}. При определении глубины расположения каждой данной локализации от доатмосферной поверхности использовались зависимости, полученные на основе данных, приведенных в работе^{/8/}, для пироксенов из метеоритов.

Таблица

Лока- лизация	D* в оливине	D в пиро- ксене	D в оливине с учетом сокращения длины трека	D с учетом возраста	d**
Большой фрагмент					
1	3,92	6,67	10,67	15	2
2	4,82	8,2	13,12	18,48	1,5
3	3,53	6,0	13,52	13,52	2,2
4	3,3	5,6	8,96	12,61	2,3
5	4,55	7,73	12,37	17,4	1,6
6	2,1	3,4	5,44	7,6	3
6"	3,4	5,78	9,24	13,02	2,3
7	3,9	6,63	10,54	14,8	2
Малый фрагмент					
1	4,6	7,82	12,51	17,6	1,6
1"	3,45	5,87	9,4	13,2	2,2
3	1,63	2,8	4,48	6,3	3,5
5	4,6	7,82	12,51	17,6	1,6
3-I	6,14	10,43	16,68	23,68	0,9
3-II	5,3	9,0	14,41	20,29	1
3-III	3,0	5,1	8,16	11,45	2,4
3-IV	2,8	4,76	7,62	10,7	2,5

* D - плотность треков ($1/\text{см}^2 \cdot 10^6$).

** d - расстояние от доатмосферной поверхности /см/.

Глубины расположения каждой локализации в предположении, что метеорит Тугалын Булеен первоначально представлял собой тело, близкое к сфере, приведены в последней колонке таблицы. При расчетах доатмосферных размеров использовались аналогично /13,14/, также предположения о том, что за последние 7,1 млн. лет метеорит Тугалын Булеен не претерпел дальнейшего дробления при столкновениях с другими метеоритами в космическом пространстве и что интенсивность галактических космических лучей не изменялась в этот отрезок времени. Массе 2,9 кг претерпевшего абляцию при прохождении плотных слоев атмосферы метеорита Тугалын Булеен соответствует сферическое тело радиусом 5,8 см. Толщина испарившегося при прохождении атмосферы слоя составляет от 0,9 до 3,5 см. На основании этих измерений доатмосферная масса метеорита Бугалын Булеен определена равной ~10,5 кг.

Таким образом, свыше 70% первоначальной массы этого метеорита было утрачено при прохождении плотных слоев атмосферы. Поскольку в этом метеорите содержались участки на глубине до 1-2 см от первоначальной поверхности, и оливина, и пироксены /бронзит/ могут быть использованы при проведении исследований истории космического излучения, а также при поисках треков ядер с $Z \geq 108$.

При выполнении этих исследований целесообразно применять процедуру частичного отжига треков в оливинах /отжиг при $T = 430^\circ\text{C}$ в течение 32 ч./ и разработать такую процедуру для пироксенов. В этих условиях поиск треков ядер с $Z \geq 108$ можно производить в зернах силикатов размером ~0,4-0,6 мм, имеющих в изобилии в этом метеорите.

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флеорову за постоянный стимулирующий интерес к этим исследованиям.

ЛИТЕРАТУРА

- Капусцик А., Перелыгин В.П., Третьякова С.П. ПТЭ, 1964, №5, с.72.
- Абдуллаев Х. и др. ПТЭ, 1968, №2, с.78.
- Отгонсурэн О., Перелыгин В.П., Стеценко С.Г. ПТЭ, 1977, №2, с.49.
- Tatsumoto M., Onroh D.M., Desborough G.A. Geoch.Cosmoch. Acta, 1976, 40, p.617-634.
- Cantelaube Y., Pellas P. Origin and Distribution of Elements. Ed. L.Ahrens. Pergamon Press, 1968, p.478.
- Price P.B., Rajan R.S., Tamhane A.S. J.Geophys.Res., 1967, 72, p.1372.
- Megrue G.H. J.Geophys.Res., 1968, 73, p.2027.
- La1 D. Space Sci.Rev., 1972, 14, p.3.
- Lorin I.C., Poupeau G. Meteoritics, 1973, 8, p.410.
- Pellas P., Ducater A., Berdot J.L. Meteoritics, 1973, 8, p.418.
- Vogard D.D., Czessy P.J. Geoch.Cosmoch.Acta, 1973, 37, p.527.
- Krishnaswami D. et al. Science, 1971, 174, p.287.
- Жолудь Т.П. и др. Метеоритика, 1980, 39, с.85.
- Аалоз А.О. и др. ОИЯИ, Р14-12937, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 августа 1981 года.