

К-93

4986/2-76

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

13/10.76



P14 - 9992

Г.Курат, П.Пеллас, В.П.Перелыгин, С.Г.Стеценко,  
Н.Н.Гаврилова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОАТМОСФЕРНЫХ РАЗМЕРОВ  
ПАЛЛАСИТА ИГЛ СТЕЙШН

1976

P14 - 9992

Г.Курат,<sup>1</sup> П.Пеллас,<sup>2</sup> В.П.Перелыгин, С.Г.Стеценко,  
Н.Н.Гаврилова

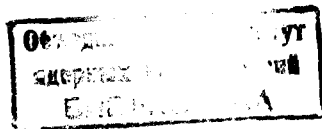
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОАТМОСФЕРНЫХ РАЗМЕРОВ  
ПАЛЛАСИТА И ГЛ СТЕЙШН

Направлено в журнал "Геохимия"

---

<sup>1</sup> Музей естествознания, Вена.

<sup>2</sup> Музей естественной истории, Париж.



Способность силикатных минералов из метеоритов регистрировать и сохранять в течение длительного времени /до  $10^8$  лет/ следы тяжелых космических ядер, впервые отмеченная в работе М.Моретта, П.Пелласа и Р.М.Уокера /1/, нашла широкое применение в исследованиях метеоритов и лунных образцов /2-4/. Одним из интересных применений этого явления служит определение первоначальных /доатмосферных/ размеров метеоритов, впервые произведенное в 1968 году У.Кантелобом, П.Пелласом для метеорита Сан-Северин /5/. Измерялась плотность треков ядер группы железа в пироксенах из различных фрагментов этого метеорита. На основании данных о плотности треков и известного космического возраста этого метеорита - / $11,6 \pm 1,0 \cdot 10^6$  л /6/ была определена доатмосферная масса в пределах 360-390 кг /средняя потеря массы-30%/. Позднее такая методика была применена при измерениях доатмосферных размеров метеоритов Илимаез /7/, Кейс /8/, Эллеген /9/, Красноярск /10/, Марьялахти /11/.

Проблема определения доатмосферной массы и размеров метеоритов, а также глубины расположения силикатных кристаллов имеет особое значение в связи с проведением поисков протяженных следов / $\geq 1$  мм/ сверхтяжелых космических ядер в составе галактических ядер космических лучей

Так как пробег ядер с  $Z = 110$  и  $E \leq 3$  ГэВ/нуклон в веществе палласитов не более 10 см, а длина свободного пробега таких ядер не превышает 3 см /14/, очевидно, что для успешных поисков сверхтяжелых элементов и изучения состава тяжелой компоненты галактических космических лучей необходимы кристаллы, расположенные возможно ближе к доатмосферной поверхности метеорита /не глубже 6 см/.

В настоящей работе предпринята попытка определить доатмосферные размеры метеорита Игл Стейшн по плотности треков ядер группы железа в кристаллах оливина. Кристаллы оливина были отобраны из различных образцов метеорита Игл Стейшн, хранящихся в коллекциях музеев Парижа, Вены, Чикаго.

Проекция образцов из парижского и венского музеев с местами расположения и отбора проб приведены на рис. 1, 2. По данным, приведенным в монографии Чирвин-

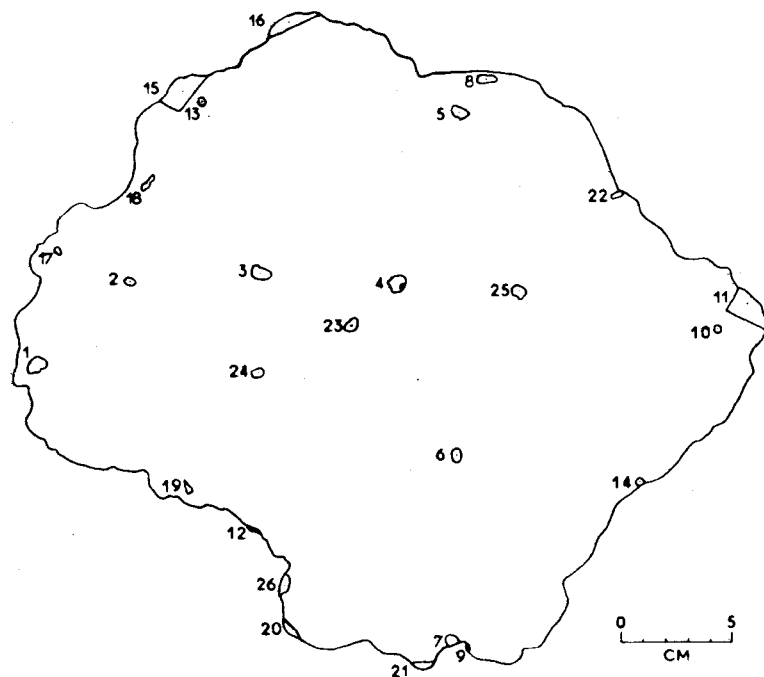


Рис. 1. Проекция образца метеорита Игл Стейшн из Музея естественной истории /Париж/ с местами отбора исследованных кристаллов.

ского /15/ образцы Игл Стейшн из музеев Лондона /рис. 2а/ и Вены /рис. 2б/ составляли общую пластину.

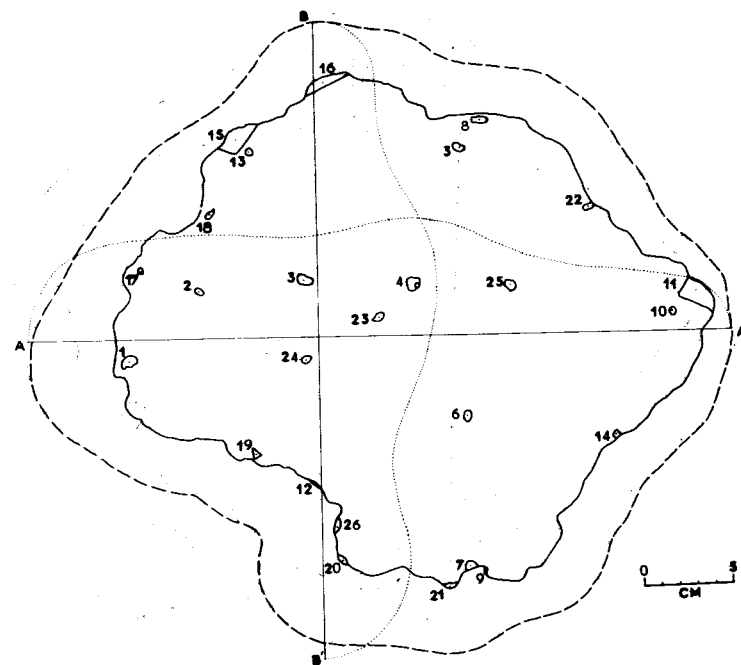


Рис. 5. Проекция образца метеорита из Музея естественной истории /Париж/. Штриховой линией показаны вероятные доатмосферные размеры образца, пунктирными линиями - вероятные размеры от доатмосферной поверхности до плоскости образца.

площади реконструированных образцов и соответствующая масса метеорита.

Размеры метеорита можно оценить, используя данные о глубинах расположения кристаллов из внутренних участков метеорита: средняя глубина расположения кристаллов - 5,4 см, суммарная толщина больших плоских пластин, хранящихся в музеях Вены, Парижа и Будапешта, - 5 см, толщина метеорита, утраченная при распиливании, - 1,5 см. Суммарная толщина метеорита - 17,3 см, что хорошо согласуется с оценкой для средней толщины метеорита при утраченном слое 2,9 см.

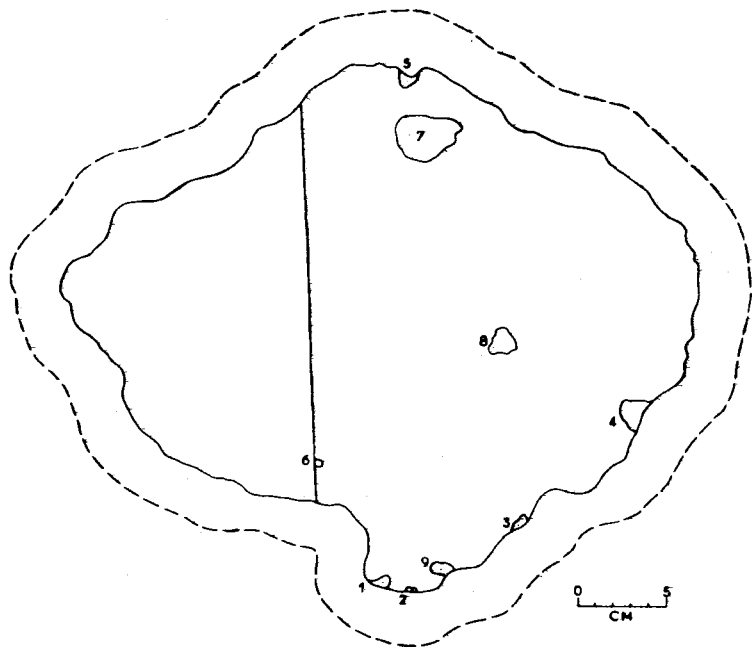


Рис. 6. Проекция образца из венского Музея естествознания с вероятными доатмосферными размерами.

Можно сделать вывод, что доатмосферная масса метеорита Игл Стейшн составляла ~ 82 кг, потери его первоначальной массы при падении на Землю были ~ 46 кг.

Небольшие размеры метеорита, а также относительно малая толщина слоя, утраченного при прохождении атмосферы Земли, указывают на то, что кристаллы оливина из некоторых поверхностных областей с плотностью треков железа  $> 10^7$  на  $см^2$  весьма перспективны для изучения тяжелой компоненты галактических космических лучей и поисков трансурановых элементов.

В заключение авторы выражают глубокую признательность Г.Н.Флерову за внимание к работе и полезные обсуждения и Х.Геггелер за помощь при просмотре образцов.

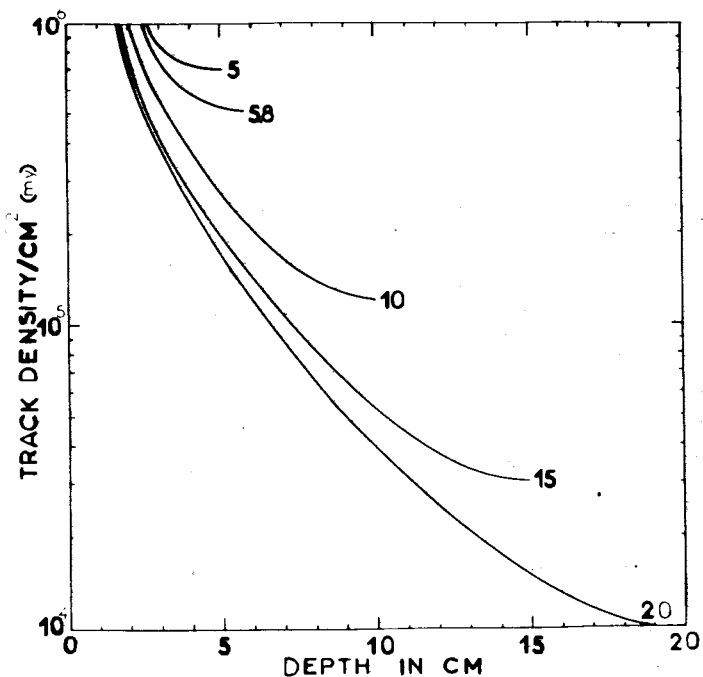


Рис. 4. График зависимости плотности треков ядер группы железа от глубины расположения и радиуса метеорита для кристаллов пироксена из хондритов [3/].

рассчитаны для метеоритов сферической формы; для метеоритов неправильной формы нужно определять минимальные и максимальные значения глубины расположения кристаллов на основании измеренной величины плотности треков ядер железа, радиационного возраста метеоритов, формы и размеров образцов.

Радиационный возраст палласита Игл Стейшн известен и составляет в среднем 44 млн лет [20]. Найденный в 1880 году фрагмент Игл Стейшн имел массу 36 кг [19], так как площадь его поперечного сечения  $\approx 650 \text{ см}^2$  /табл. 2/, удельный вес  $4,82 \text{ г/см}^3$  [15], можно определить среднюю толщину образца равной  $\approx 11,6 \text{ см}$ .

Средние и максимальные расстояния от доатмосферной поверхности исследованных кристаллов приведены в табл. 1. Образцы кристаллов 7P, 17P, 24P из фрагмента

Таблица 1.

№ пп	Тр. см <sup>2</sup> группы Fe	Тр/см <sup>2</sup> млн. лет для пироксенов /8,9,10/	Глубина расположения локализаций от атмосферной поверхности /3,18/(см)		Расстояние от коры плавления (см)
			средняя	максимальная	
1	2	3	4	5	6
1P	2,6.10 <sup>5</sup>	1,24.10 <sup>5</sup>	5,5	6,9	4,7
2P	2,3.10 <sup>6</sup>	1,1.10 <sup>5</sup>	5,8	7,2	-
3P	2,6.10 <sup>6</sup>	1,21.10 <sup>5</sup>	5,5	6,9	-
4P	1,3.10 <sup>6</sup>	7,62.10 <sup>4</sup>	6,7	8,1	-
5P <sup>x</sup>	7,3.10 <sup>5</sup>	3,63.10 <sup>5</sup>	3,5	4,7	1,7
6P	5,6.10 <sup>6</sup>	2,7.10 <sup>5</sup>	4	5,3	-
7P	-	-	-	-	-
8P <sup>x</sup>	8,6.10 <sup>6</sup>	4,1.10 <sup>5</sup>	3,2	4,5	2,8
9P <sup>x</sup>	7,5.10 <sup>6</sup>	3,58.10 <sup>5</sup>	3,5	4,7	3,4
10P <sup>x</sup>	9,3.10 <sup>6</sup>	4,44.10 <sup>5</sup>	3,1	4,3	0,9
11P <sup>x</sup>	1,6.10 <sup>7</sup>	7,62.10 <sup>5</sup>	1,7	2,1	1,2
12P <sup>x</sup>	8,3.10 <sup>6</sup>	3,96.10 <sup>5</sup>	3,3	4,5	3,2
13P <sup>x</sup>	1,03.10 <sup>7</sup>	4,82.10 <sup>5</sup>	2,9	4,2	1,4
14P <sup>x</sup>	9,8.10 <sup>6</sup>	4,68.10 <sup>5</sup>	3	4,2	2,8
15P <sup>x</sup>	1,3.10 <sup>7</sup>	6,2.10 <sup>5</sup>	2	2,7	1,5
16P <sup>x</sup>	7,6.10 <sup>6</sup>	3,63.10 <sup>5</sup>	3,5	4,7	3,2
17P	-	-	-	-	-
18P <sup>x</sup>	3,6.10 <sup>6</sup>	1,72.10 <sup>5</sup>	4,8	6,2	4,2
19P <sup>x</sup>	5,7.10 <sup>6</sup>	2,72.10 <sup>5</sup>	3,9	5,2	3,4
20P <sup>x</sup>	3,6.10 <sup>6</sup>	1,72.10 <sup>5</sup>	4,8	6,2	4,7
21P <sup>x</sup>	6,2.10 <sup>6</sup>	2,96.10 <sup>5</sup>	3,8	5,0	3,6
22P <sup>x</sup>	7,1.10 <sup>6</sup>	3,4.10 <sup>5</sup>	3,5	4,8	3,2
23P	2,9.10 <sup>6</sup>	1,39.10 <sup>5</sup>	5,3	6,6	-
24P	-	-	-	-	-
25P	4,2.10 <sup>6</sup>	2.10 <sup>5</sup>	4,5	5,9	-

1	2	3	4	5	6
26P <sup>x</sup>	5,7.10 <sup>6</sup>	2,72.10 <sup>5</sup>	3,9	5,2	3,7
1VI	9,1.10 <sup>6</sup>	4,34.10 <sup>5</sup>	3,1	4,3	2,7
2VI	8,9.10 <sup>6</sup>	4,25.10 <sup>5</sup>	3,2	4,4	3,1
3VI	10 <sup>6</sup>				треки частично отожжены
4VI <sup>x</sup>	7,2.10 <sup>6</sup>	3,43.10 <sup>5</sup>	3,6	4,8	3,1
5VI <sup>x</sup>	5,1.10 <sup>6</sup>	2,43.10 <sup>5</sup>	4,2	5,5	3,8
6VI <sup>x</sup>	3,6.10 <sup>6</sup>	1,72.10 <sup>5</sup>	4,8	6,2	2,7
7VI	1,7.10 <sup>6</sup>	8,1.10 <sup>4</sup>	6,5	7,9	-
8VI	3,4.10 <sup>6</sup>	1,62.10 <sup>5</sup>	5	6,3	-
9VI <sup>x</sup>	8,4.10 <sup>6</sup>	4.10 <sup>5</sup>	3,3	4,5	2,9
1Ch	5,3.10 <sup>6</sup>	2,53.10 <sup>5</sup>	4,1	5,4	-
2Ch	7,5.10 <sup>6</sup>	3,58.10 <sup>5</sup>	3,5	4,7	2,5
3Ch	1,05.10 <sup>7</sup>	5.10 <sup>5</sup>	2,9	4,1	2,6
1Y2	6.10 <sup>6</sup>	2,86.10 <sup>5</sup>	3,8	5,1	-
2Y2	3,7.10 <sup>6</sup>	1,77.10 <sup>5</sup>	4,8	6,2	-
3Y2	3,8.10 <sup>6</sup>	1,81.10 <sup>5</sup>	4,8	6,2	-
4Y2	2,4.10 <sup>6</sup>	1,15.10 <sup>5</sup>	5,7	7,2	-
5Y2	6,4.10 <sup>6</sup>	3,05.10 <sup>5</sup>	3,8	5	-
6Y2	6,7.10 <sup>5</sup>				треки частично отожжены
7Y2	3,1.10 <sup>6</sup>	1,48.10 <sup>5</sup>	5,1	6,5	-
8Y2	6,2.10 <sup>6</sup>	2,95.10 <sup>5</sup>	3,8	5	-
9Y2	1,8.10 <sup>6</sup>	8,6.10 <sup>4</sup>	6,4	7,8	-
10Y2	3,5.10 <sup>6</sup>	1,67.10 <sup>5</sup>	4,9	6,3	-

P - локализации из образца парижского музея (Рис.2)

VI - локализации из образца венского музея (Рис.1)

Ch - локализации из образца чикагского музея

Y2 - локализации из небольших образцов венского музея

x - локализации, расположенные вблизи коры плавления.

парижского музея /рис. 1/, 3V1 из фрагмента венского музея /рис. 26/, и 6V2 из небольшого отдельного фрагмента из венского музея частично отождены и для них не определялось положение относительно поверхности. Среди всех исследованных образцов не было обнаружено кристаллов, расположенных глубже 10 см. Отсюда можно заключить, что существенного дробления метеорита при прохождении атмосферы не происходило и что форма метеорита Игл Стейшн близка к первоначальной /доатмосферной/.

При определении глубины расположения кристаллов по кривым рис. 4 определялись средние значения между  $R_{max}$  и  $R_{min}$ . Минимальный радиус для кристаллов с высокой плотностью треков принимался равным 5,8 см, а для кристаллов с меньшей плотностью за  $R_{min}$  принимался радиус такого сферического тела, в котором данный кристалл находился бы в центре. Максимальный радиус метеорита принимался равным 20 см. При средних значениях глубины расположения кристаллов  $l=0,5$  ( $R_{min} + R_{max}$ ), для 25 участков, расположенных вблизи края исследованных фрагментов, величина утраченного слоя метеорита равна 2,9 см; если же учитывать максимальные значения глубины погружения  $l$ , утраченный слой метеорита равен 3,5 см.

На рис. 5,6 показана реконструкция фрагментов из парижского и венского музеев, в табл. 2 приведены

Таблица 2.

№ пп	Площадь образца из венского музея см <sup>2</sup>	Площадь образца из парижского музея см <sup>2</sup>	Средняя толщина метеорита см	Плотность метеорита г/см <sup>2</sup>	Вес метеорита кг	Примечание
1.	666 <sup>x</sup>	628	11,6	56	36	
2.	990	960	17,4	84	82	при толщине утраченного слоя 2,9 см
3.	1100	1110	18,6	89,5	99	при толщине утраченного слоя 3,5 см

<sup>x</sup> Суммарная площадь образцов из венского и лондонского музеев.

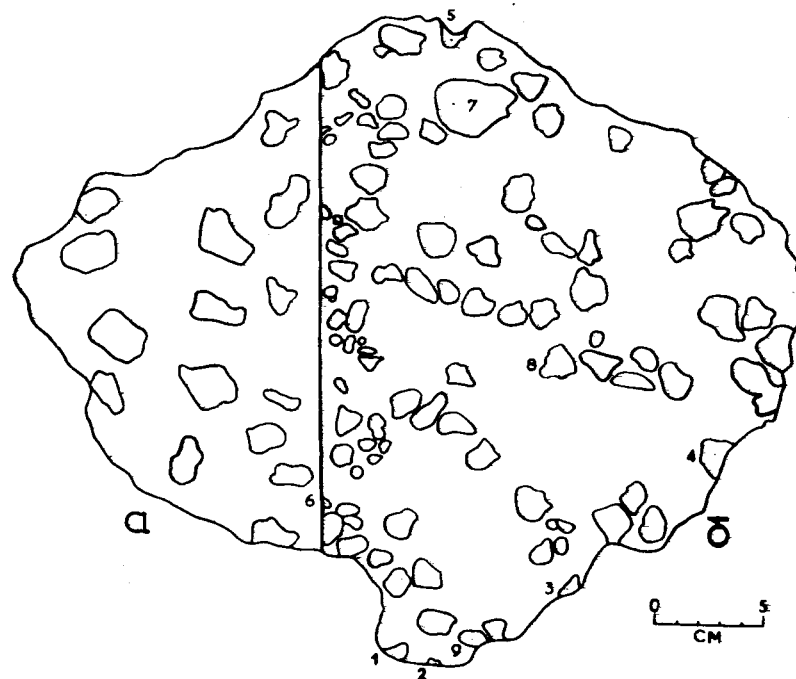


Рис. 2. Проекция образца из Музея естественной истории /Вена/ с расположением кристаллов и местами отбора проб /справа от прямой линии/. Слева от прямой линии образец метеорита Игл Стейшн из Британского музея.

Отобранные кристаллы оливина с размерами ~ 1 мм монтировались в эпоксидную смолу, полировались и подвергались травлению в герметичном тefлоновом сосуде раствором  $HN^{15}$ . Мелкие кристаллы с плоскими гранями травились в виде порошка. Для уменьшения при травлении угла раствора конуса трека травитель был модифицирован: концентрация щавелевой кислоты была увеличена в четыре раза, значение pH-раствора доводилось до  $8,00 \pm 0,05$ .

Травление проводилось при температуре  $100-110^\circ C$  в течение  $6 \div 8$  час.

Такая процедура травления позволяет с достаточной точностью определять плотность ядер группы железа в пределах до  $2.10^7$  тр/см<sup>2</sup>.

Плотность треков ядер группы железа измерялась несколькими наблюдателями при увеличении от 600X до 1800X; результаты измерений представлены в табл. 1.

Из распределения длин треков ядер группы железа /рис. 3/ следует, что эффект термической регрессии мал, за исключением образцов кристаллов из нескольких

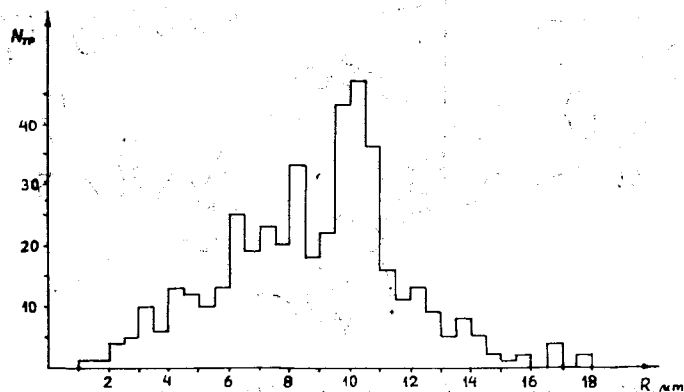


Рис. 3. Распределение длин треков ядер группы железа в оливине из метеорита Игл Стейшн.

поверхностных участков. Используя данные для зависимости плотности треков ядер группы железа от глубины расположения в кристаллах пироксена из хондритов, приведенные в работе Д.Лала<sup>/9/</sup> /рис. 4/, можно оценить доатмосферные размеры и массу метеоритов. Исследования кристаллов пироксенов из лунных образцов<sup>/17/</sup> и метеоритов<sup>/8,9/</sup> показали, что плотность треков ядер группы железа в них 1,8 ÷ 2,4 раза выше, чем в расположенных рядом оливинах.

При использовании данных Д.Лала необходимо ввести коэффициент 0,7 для глубины расположения, учитывающий различие в пробеге ядер Fe в веществе палласитов и хондритов<sup>/18/</sup>. Кривые, представленные на рис. 4,

## Литература

1. M.Maurette, P.Pellas, R.M.Walker. Nature, 204, 821 (1964).
2. P.B.Price, R.L.Fleischer. Ann.Rev.Nucl. Sci., 21, 295 (1971).
3. D.Lal. Space Sci.Rev., 14, 3 (1972).
4. R.L.Fleischer, P.B.Price, R.M.Walker. Nuclear Tracks in Solids. Univ. of Calif. Press, 1975.
5. Y.Cantelaube, P.Pellas. Origin and Distribution of Elements, Ed. Ahrens, Pergamon Press, p. 479 (1968).
6. J.Funkhouser, T.Kirsten, O.A.Schaeffer. Light and Heavy Rare Gases in Four Grag. Fragments of the St Severin Meteorites. (Private Communication).
7. L.L.Kaschkarov, L.I.Genaeva, V.V.Malischev, L.M.Satarova, A.K.Lavrukhina. Rep. No. 290, XI Int. Conf. on Cosmic Rays, Budapest (1969).
8. J.C.Lorin, G.Poupeau. Meteoritics, 8, 410 (1973).
9. P.Pellas, A.Ducater, J.L.Berdot. Meteoritics, 8, 418 (1973).
10. Y.Cantelaube, C.R. Acad. Sci. Paris., 2760, 1093 (1973).
11. В.П.Перелыгин, Х.Б.Винк, О.Отгонсурен. ОИЯИ, Р13-8359, Дубна, 1974.
12. О.Отгонсурен, В.П.Перелыгин. ОИЯИ, Р7-7406, Дубна, 1973.
13. Г.Н.Флеров, О.Отгонсурен, В.П.Перелыгин. ОИЯИ, Р7-8135, Дубна, 1974.
14. С.Fieni, P.Pellas, O.Otgonsuren, V.P.Perelygin, S.G.Stetsenko, N.N.Gavrilova. JINR, E7-9636, Dubna, 1976.
15. П.Н.Чирвинский. Палласиты. М., Недра, 1967.
16. S.Krishnaswami, J.Lal, N.Prabhu, A.S.Tamhane. Science, 174, 287 (1971).



17. N. Bhandari, J.N.Goswami, D.Lal,  
P.Macdougall, A.S.Tamhane. Proc.  
Indian Ac. Sci., 76A, 27 (1972).
18. R.L.Fleischer, P.B.Price, R.M.Walker,  
M.Maurette. Journ. Geophys. Res., 72,  
331 (1967).
19. Max H.Hey. Catalogue of Meteorites.  
The Alden Press (Oxford) Limited, 1966.
20. G.H.Mergue. Journ. Geophys. Res., 73, 6  
(1968).

*Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июля 1976 года.*