Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН» №1(27)'2009 ISSN 1819 - 6586 URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h dgggms/1-2009/informbul-1 2009/planet-2.pdf

# МЕТОДИКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТОНКОСЛОЙНОГО ТРАВЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРЕКОВ В КРИСТАЛЛАХ ОЛИВИНА ИЗ ПАЛЛАСИТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ЯДЕР ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ Александров А.Б., Багуля А.В., Владимиров М.С., Гончарова Л.А. (ФИАН), Ивлиев А.И., Калинина Г.В., Кашкаров Л.Л. (ГЕОХИ РАН), Коновалова Н.С., Полухина Н.Г., Русецкий А.С., Старков Н.И. (ФИАН) leokash@mail.ru; poluhina@sci.lebedev.ru; cosmo@geokhi.ru.

Ключевые слова: сверхтяжелые ядра, галактические космические лучи, треки, оливин

#### Введение

Для изучения зарядового спектра высокоэнергичных ядер галактических космических лучей (ГКЛ), проводимых с помощью трековой методики в рамках проекта ОЛИМПИЯ [1], нами используются кристаллы оливина, выделяемые из железо-никелевой матрицы палласитов Марьялахти и Игл Стэйшн. Идентификация заряда ядер, следы торможения которых регистрируются в кристаллах оливина в виде химически травимых треков, осуществляется на данном этапе наших исследований с помощью двух параметров: измеренного отрезка протравленной длины (L) трека и соответствующей ей скорости травления (V<sub>TR</sub>) [2]. В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований зависимости величины определяемого заряда (Z) ядер, исходя из значений L и V<sub>TR</sub>, измеренных на различных участках следов торможения ядер.

## Методика

При измерении геометрических параметров треков ядер VVH-группы (Z ≥ 30) космических лучей в кристаллах оливина размером 1-2 мм из палласитов Марьялахти и Игл Стэйшн крайне важно как можно более точно фиксировать координаты начала и конца химически травимой длины треков. Высокоточные измерения L проводились с помощью полностью автоматизированной измерительного комплекса ПАВИКОМ [3].

В первом приближении геометрическая форма химически травимого трека тяжелой заряженной частицы может быть представлена в виде «шприца», состоящего из двух основных частей: цилиндрической или основной, со слабо меняющимся вдоль всей длины диаметром ( $D_{base}$ ), и иглообразной или конусной, вдоль которой диаметр ( $d_{cone}$ ) уменьшается от некоторого значения  $d_{cone,RR}$ , соответствующего длине остаточного пробега ядра (RR), до ~ 0 в начальной точке травимой зоны трека. Характерная форма такого трека приведена на рис.1.



**Рис.1.** Трек сверхтяжелого ядра ГКЛ, наблюдаемый в кристалле оливина из палласита Марьялахти после химического травления в WN растворе в течение 48 часов. Размер изображения ~ (150 × 300) мкм

Химическое травление кристаллов оливина, запакованных в таблетки из эпоксидной смолы, проводилось в модернизированном WN растворе с добавлением NaOH до pH =  $8.6 \pm 0.1$  в герметически закрытом стальном сосуде с внутренним тефлоновым стаканом при температуре 110  $\pm 1^{\circ}$ C. Интервалы времени травления подбирались, исходя из времени травления полной длины (RR<sub>base</sub> = 15 мкм) треков ядер VH-группы (23 < Z < 28) ГКЛ t ~ 4 час, и времени травления RR<sub>base</sub> = 50 - 70 мкм треков от ядер VVH-группы (30 < Z < 40) t ~ 8 час. Таким образом, для обнаружения на поверхности травления кристаллов треков с R  $\geq 100$  мкм, относящихся к ядрам с Z  $\geq$ 

50, необходимое минимальное время травления составляло t ~ 10-12 час. Для проведения исследований нами были проведены травления в три последовательных этапа: I – 12 час, II – 12 час и III – 24 час, что соответствовало суммарному времени травления на каждом из этих этапов I – 12 час, II – 24 час и III – 48 час.

При этом, последовательно на каждом этапе измерений геометрических параметров треков проводятся следующие процедуры: (1) Химическое травление свеже полированной поверхности; (2) Удаление слоя толщиной 8±2 мкм, содержащего высокую плотность короткопробежных треков ядер VH-группы ГКЛ; (3) Просмотр и измерение геометрических параметров длиннопробежных треков. Далее, в зависимости от длины выявленных треков способом плоскопараллельной шлифовки с поверхности травления кристалла удаляется слой заданной толщины. Экспериментально выявлено, что в зависимости от толщины (h) удаляемого слоя: (a) при изменении h от ~ 20 до ~ 50 мкм существенно уменьшается эффективность регистрации (η) треков ядер с зарядом ( $30 \le Z \le 36$ ); (б) при h = 50-100 мкм уменьшается η для треков ядер с Z до 40 и, кроме того, в несколько раз увеличивается погрешность в определении травимой длины треков ядер с Z  $\ge 50$ .

Исходя из полученных данных, эмпирически установлены наиболее оптимальные условия поэтапной шлифовки, травления и измерения параметров треков, по дифференциальной объемной плотности треков которых проводится затем определение потока ядер тяжелых и сверхтяжелых элементов ГКЛ.

### Результаты

Возраст космического облучения палласита Марьялахти равен ~ 175 млн. лет, благодаря чему в кристаллах оливина этого метеорита сформировалась достаточно высокая плотность треков от таких мало распространенных ядер, как ядра с зарядом Z > 50. В зернах оливина, расположенных на глубине около 6 см от до атмосферной поверхности метеороида, наблюдается до ~ $10^3 - 10^4$  треков с L > 100 мкм, приходящихся на 1 см<sup>3</sup> кристалла. Это дает возможность проводить измерения динамических характеристик травления треков для статистически представительного их числа в процессе последовательного, ступенчатого во времени, процесса травления.

Результаты измерения наблюдаемых длин (L) треков, а также вычисленные величины скоростей травления ( $V_{TR}$ ) и заряда ядер (Z) наиболее характерных случаев из анализируемых около 500 треков, приведены в таблице.

### Таблица

N⁰	$t_{\rm I} = 12$ час			$t_{II} = 12 + 12$ час			$t_{III} = 12 + 12 + 24$ час		
ПП	L	V <sub>TR</sub>	Z	L	V <sub>TR</sub>	Z	L	V <sub>TR</sub>	Z
1	115.8	9.7	67	152.0	6.3	67	178.0	3.7	67
2	156.3	13	72	192.4	8.0	71	210.0	4.4	71
3	131.2	10.9	69	160.4	6.7	68	183.0	3.8	68
4	134.5	11.2	70	162.6	6.8	68	173.9	3.6	67
5	139.8	11.7	71	170.3	7.1	69	193.4	4.0	69
6	122.2	10.2	68	144.3	6.0	66	127.9	2.7	61
7	98.6	8.2	64	150.0	6.3	67	195.4	4.1	70
8	112.8	9.4	66	145.1	6.1	66	255.8	5.3	73
9	104.0	8.7	64	155.8	6.5	67	180.3	3.7	68
10	129.9	10.6	69	210.6	8.8	73	284.9	5.9	76
11	132.1	11	70	159.0	6.6	68	285.3	5.9	76
12	102.5	8.5	64	173.2	7.2	70	179.5	3.7	68

Травимая длина (L) и скорость травления (V<sub>TR</sub>) треков, регистрируемые в кристаллах оливина при их последовательном ступенчатом травлении в течение 12 – 48 час.

\* Приведены результаты для треков с травимой после 12-ти часов длиной L ≥ 100 мкм.

Исходя из данных калибровочных экспериментов, по результатам, приведенным в таблице, были определены заряды ядер. Существенным при этом является возможность сопоставления величин Z, измеренным на каждом из коротко-временных этапов травления треков. Некоторые, наиболее характерные примеры вариации величины поэтапно идентифицируемого заряда ядер представлены в графическом виде на рис. 2. 3



**Рис.2**. Изменение величины заряда ядер, образующих треки, параметры которых (L и  $V_{TR}$ ) определялись при последовательном травлении в течение 12 - 48 часов.

Как видно из приведенных результатов, все изученные таким образом треки подразделяются, по крайней мере, на четыре группы: 1-я –Z в процессе травления остается практически постоянной величиной; 2-я – Z изменяется в пределах  $\pm$  (2-3) ед. заряда; 3-я для случаев, когда Z на (5-7) ед. возрастает и 4-я – Z сначала возрастает затем уменьшается, или, наоборот, сначала уменьшается затем растет. Полученные нами экспериментальные данные показали, что из общего числа изученных треков на долю каждой из указанных групп приходится 36%, 41%, 4% и 19% соответственно.

### Выводы

Проведенные измерения и анализ данных поэтапного травления длиннопробежных (L>100 мкм) треков в кристаллах оливина из палласита Марьялахти показали, что: (а) При идентификации заряда Z сверхтяжелых ядер ГКЛ с использованием параметров травимых треков L и V<sub>TR</sub> могут наблюдаться случаи: (1) практически постоянной, варьирующей в пределах  $\Delta Z = \pm (0-1)$ ед., величины Z; (2) варьирующей в пределах  $\Delta Z = \pm (2-3)$  ед. заряда; (3) возрастающей на  $\Delta Z =$ ± (3–10) ед. заряда величиной Z и (4) возрастания/уменьшения, или, наоборот, величины Z с ∆Z = ± (3-5) ед. заряда. (б) Различный характер изменения идентифицируемой величины Z для одних и тех же ядер, треки от которых за одни и те же интервалы времени протравливаются с разной скоростью, по-видимому, связан с конкретным участком наблюдаемого трека, травимым на каждом из коротко-временных этапов травления. Так как величина V<sub>TR</sub> на протяжении травимого основного участка трека RR<sub>base</sub> изменяется в пределах одного порядка величины, то это приводит к соответствующему изменению идентифицируемой величины Z. (в) Исходя из указанного выше, при изучении зарядового состава ядер ГКЛ по трекам в кристаллах оливина из палласитов необходимо проводить поэтапное, с продолжительностью времени травления на каждом из этапов около 12 час, измерение параметров L и V<sub>TR</sub>, а в качестве результирующих значений заряда ядер должны браться максимальные величины Z<sub>max</sub>, получаемые при проведении всех этапов травления и измерения параметров треков.

Исследования проводились при поддержке РФФИ, грант № 06-02-16835

#### Литература

1. Ginzburg V.L., Polukhina N.G., Feinberg E.L., Starkov N.I., Tsarev V.A. // Doklady Physics. 2005. V. 50. № 6. P. 283-285.

2. Александров А.Б., Багуля А.В., Владимиров М.С., Гончарова Л.А., Ивлиев А.И., Калинина Г.В., Кашкаров Л.Л., Коновалова Н.С., Окатьева Н.М., Полухина Н.Г., Русецкий А.С., Старков Н.И., Царев В.А. Краткие сообщения по физике // ФИАН. 2008. № 7. С. 19-27.

*3. Feinberg E.L., Kotelnikov K.A., Polukhina N.G.* Completely Automated Measuring Complex (PAVICOM) for Track-Detector Data Processing // Physics of Particles and Nuclei. 2004. V. 35. N 3. P. 409-423.

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009 При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\_dgggms/1-2009/informbul-1\_2009/planet-2.pdf Опубликовано 1 сентября 2009 г.