

УДК 550.42+550.89+551.21+552.3+552.112+553.212+546.212+549.691

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА В ИМПАКТНЫХ СТЕКЛАХ КАРСКОЙ И БОЛТЫШСКОЙ УДАРНЫХ СТРУКТУР

Л.Л.Кашкаров, М.А.Назаров, Г.В.Калинина, К.А.Лоренц, Н.Н.Кононкова

Институт геохимии и аналитической химии им В.И.Вернадского, Москва

Вестник ОГТТГН РАН № 2(12)2000, т. 2

URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dggms/2-2000/empg\\_99/planet\\_2.htm#begin](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/2-2000/empg_99/planet_2.htm#begin)

© 2000 ОИФЗ РАН, ОГТТГН РАН

Импактные стекла плавления являются наиболее подходящим материалом для датирования ударных структур трековым (FT) методом [1]. Именно эти природные трековые детекторы наиболее распространены в ударных структурах и дают реальную возможность определения наиболее достоверной величины возраста импактного события. Оценка объема расплавленного вещества, например, для Карского кратера составляет  $\sim 5 \cdot 10^2 \text{ км}^3$  [2].

Начиная с момента охлаждения до температуры сохранности треков и до настоящего времени в стеклах импактного происхождения накапливаются треки от осколков спонтанного деления  $^{238}\text{U}$ . Исходя из этого, FT возраст (t) может быть определен подсчетом двух плотностей треков (число треков, приходящихся на единицу площадки анализируемой поверхности стекла):  $\rho_s$  – от осколков спонтанного деления  $^{238}\text{U}$  и  $\rho_i$  – от осколков нейтроно-индуцированного деления  $^{235}\text{U}$ . В рамках обсуждаемого вопроса о содержании ( $C_U$ ) и распределении урана в импактных стеклах формула для определения t может быть записана в виде:

$$t = \text{const} \times (\rho_s / C_U) \quad (1)$$

Таким образом, абсолютная величина t и ошибка ее определения помимо других параметров непосредственно зависят от: 1) содержания урана в исследуемом образце стекла; 2) характера распределения урана как между различными образцами стекла, так и в объеме каждого фрагмента стекла; 3) погрешности определения величин  $C_U$ .

В данной статье приводятся результаты измерения содержания урана в импактных стеклах Карской и Болтышской ударных структур, сопоставляемых с данными химического анализа этих стекол и различных пород в зоне формирования кратеров [3,4]. Рассматриваются также некоторые методологические вопросы методики трекового датирования.

Химический состав отдельных фрагментов импактного стекла, зависящий как от литологического состава локальных участков вещества-мишени [5], так и от процесса селективного испарения [6], варьирует в широких пределах. При этом, химическая неоднородность используемых для датирования образцов стекла может отразиться на неконтролируемой вариации степени термического залечивания треков спонтанного деления урана, а также может влиять на эффективность химического травления треков. Однако, как показали наши исследования, наиболее существенное влияние на результаты трекового датирования импактных стекол оказывает неравномерное содержание урана между различными фрагментами стекла и в объеме отдельных фрагментов. Исходя из этого, уже на начальном этапе проведения трековых исследований отбирались фрагменты стекла, на внутренних поверхностях которых отсутствовали видимые включения, неоднородности и трещины. В дальнейшем после облучения в ядерном реакторе и травления нейтроно-индуцированных треков осуществлялась вторичная отбраковка фрагментов, в которых были обнаружены разного рода неравномерности в распределении урана. Таким образом, все приводимые ниже данные о содержании урана в стеклах Карского и Болтышского кратеров относятся только к фрагментам стекла с однородным распределением урана в каждом из них.

В таблице 1 приведены результаты определения содержания основных породообразующих элементов (данные электронно-зондовых измерений) и концентрации урана (по трекам нейтроно-индуцированного деления) в импактных стеклах Карской и Болтышской ударных структур. Как видно, химический состав проанализированных фрагментов стекла двух кратеров, а также гранита и гранодиорита, приведенных в таблице для сравнения, в целом подобен. Исключением является очень высокое содержание MgO и CaO в стеклах Карского кратера. С другой стороны, для стекол Болтышского кратера наблюдается более высокая концентрация  $\text{SiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$ .

Таблица 1

Химический состав (мас.%) импактных стекол Карской и Болтышской ударных структур.

Компо- Ненты	Импактные стекла ударной структуры		Граниты и (*) гранодиориты
	Карская	Болтышская	
$\text{SiO}_2$	61.72 - 68.59	68.92 - 72.48	61.59 - 73.30

TiO <sub>2</sub>	0.50 - 0.90	0.41 - 0.47	0.11 - 0.66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.99 - 17.62	12.93 - 13.57	12.33 - 16.81
FeO	3.93 - 7.03	2.19 - 2.43	0.98 - 3.77
MgO	2.61 - 4.48	0.25 - 0.35	0.26 - 2.80
CaO	2.79 - 11.52	0.60 - 0.68	0.46 - 5.38
Na <sub>2</sub> O	0.26 - 2.39	2.00 - 2.34	3.32 - 6.00
K <sub>2</sub> O	2.40 - 3.07	4.72 - 5.04	1.39 - 5.45
U(x10 <sup>-4</sup> )	1.5 - 6	0.5 - 7	3.5

(\*). Приведены интервалы значений по данным [7].

Общий интервал значений концентрации урана, охватывающий изученные фрагменты стекол исследуемых ударных структур, примерно одинаков, однако характер распределения фрагментов стекла по величине  $C_U$  (см. гистограммы на рис.1) – различен: при практически равных минимальных величинах  $C_{U,min} \cong 1$  мкг/г для стекол этих кратеров  $C_{U,max}$  составляет 6 и 7 мкг/г для стекол Карского и Болтышского кратеров, соответственно. Наиболее существенным при этом является то, что в области значений  $C_U \geq 3,5$  мкг/г для Карского кратера находится только около 20%, а для Болтышского около 60% всех изученных фрагментов

стекла. Граничное значение  $C_U$  при этом отвечает наибольшей средней величине  $C_U$ , обнаруженной в породах Карской ударной структуры [3], а также среднему содержанию урана в гранитах. Средние значения  $C_U$  для всех изученных фрагментов стекла Карского и Болтышского кратеров равны 2,7 и 3,8 мкг/г соответственно.

Разброс величин  $C_U$  для индивидуальных фрагментов стекла, как это видно из рис.2, выходит далеко за пределы  $3\sigma$ . При этом погрешность ( $\sigma$ ) измерения концентрации урана в используемой нами методике сравнения с эталонным стеклом из серии стандартных материалов типа SRM, №612 с  $C_U = 37,38 \pm 0,08$  мкг/г [8] определяется, главным образом, статистической ошибкой в подсчете  $\rho_i$ . Практически для всех исследуемых нами стеклянных фрагментов, размер которых не превышал миллиметра, при  $\rho_i \cong 10^6$  см<sup>-2</sup> стандартная величина  $\sigma$  составляет (5-7)%. В случае необходимости для отдельных наиболее крупных фрагментов стекла ошибка могла быть доведена до ~3%. Это дало возможность, хотя и с относительно большой погрешностью в 15-20%, определять FT-возраст каждого анализируемого фрагмента стекла. Исходя из крайне гетерогенного распределения урана в стеклянных фрагментах как Карского, так и Болтышского кратеров, для определения возраста их формирования была применена методика трекового датирования, основанная на регистрации треков спонтанного и индуцированного деления урана индивидуально в каждом из анализируемых фрагментов стекла. В табл.2 приведены результаты датирования Карской и Болтышской ударных структур [9,10], полученные с помощью двух независимых друг от друга методов определения FT-возраста: (а) путем осреднения возрастов, измеренных для каждого из исследуемых фрагментов стекла, проводимого с учетом ошибки их определения; и (б) на основе регрессионного анализа соотношения скорректированных на термическое залечивание плотностей треков спонтанного деления урана и концентрации урана для каждого стеклянного фрагмента (аналог метода изохрон). Как видно из табл.2, различие полученных этими двумя методами величин возрастов не выходит за пределы  $1\sigma$ .

Необходимо отметить, что средние значения  $C_U$  в породах мишени Карской ударной структуры лежат в довольно узком интервале: от 2,0 до 3,3 мкг/г [3]. В то же время, достаточно большой интервал значений содержания урана в отдельных фрагментах стекла субмиллиметрового размера, по-видимому, является результатом случайного нахождения в исходном веществе разного количества таких наиболее распространенных и богатых ураном микрозерен минералов, как апатит, сфен и циркон. При этом следует отметить, что случаи наблюдения в исследуемых стеклах локальных участков скопления повышенной плотности треков (как спонтанных, так и индуцированных) были крайне редкими. Таким образом, для индивидуальных фрагментов стекла характерна высокая степень гомогенизации объемного распределения урана что указывает на достаточно полное переплавление исходного вещества, локальная масса которого не превышала десятых долей грамма.

Минимальные значения  $C_U$ , наблюдаемые для фрагментов стекла Карского и Болтышского кратеров, составляют (0.5-1) мкг/г, что в несколько раз ниже средних величин содержания урана в породах этих кратеров. В то же время, наибольшие, измеренные в стеклах изученных кратеров, величины  $C_U$  достигают (6-7) мкг/г, что для стекол обоих кратеров соответствует вариации в пределах одного порядка величины. По-видимому, следует рассматривать локальный характер плавления исходного вещества проанализированных фрагментов импактных стекол, что следует из характера распределения урана в них. Это, очевидно, не противоречит тому, что средние значения  $C_U$  для различных пород Карского кратера примерно одинаковы и совпадают со средневзвешенной величиной  $C_U$  для изученных фрагментов стекла этого кратера.

Полученные результаты приводят к следующим основным выводам:

1. Содержание урана в индивидуальных фрагментах стекла Карской и Болтышской ударных структур не коррелирует с концентрацией главных пороодообразующих элементов. Это согласуется с процессом

случайного обогащения ураном отдельных фрагментов стекла за счет наличия в локальном объеме расплава таких обогащенных ураном минералов, как апатит, сфен и циркон.

2. Средневзвешенные значения содержания урана в стеклах Болтышского кратера существенно выше по сравнению со стеклами Карского кратера, что обусловлено разным составом пород-мишени в местах их формирования.

3. Вариация значений  $C_u$  в пределах одного порядка величины в стеклах Карской и Болтышской ударных структур приводит к необходимости использования величин FT -возрастов, измеренных отдельно для каждого из анализируемых фрагментов стекла при определении наиболее достоверных значений FT-возрастов этих кратеров.

Таблица 2

FT-возраста (в ед.  $10^6$  лет) формирования Карской и Болтышской ударных структур: результаты двух независимых методов определения.

Образцы кратеров	Число изученных фрагментов стекла	Методика датирования	
		осреднение возрастов индивидуальных фрагментов	Регрессионный анализ
Карский	132	$64,62 \pm 2,19$	$64,51 \pm 2,23$
Болтышский	288	$65,07 \pm 1,21$	$64,87 \pm 2,57$

*Литература.*

1. Fleischer R.L., Price P.B. and Walker R.M. (1975). Nuclear tracks in solids: Principles and applications (Berkeley: University of California Press), 605 p.
2. Grieve R.A.F. and Cintala M.J. (1992), Meteoritics V.27, p.526-538.
3. Назаров М.А., Бадюков Д.Д., Алексеев А.С. и др.(1993). Бюллетень МОИП, Отд.геология, т.68, N 3, с.13-32.
4. Бойко А.К., Вальтер А.А., Вишняк М.М. (1985). Геол. Журн., т.45, N5, с.86-90.
5. Фельдман В.И. и Капустина И.Г. (1981). В сб. Импаkты, М. Изд. МГУ (Ред. А.А.Маракушев), 240 с.
6. Яковлев О.И., Парфенова О.В. и Архангельская В.Н. (1978). Докл. АН СССР, т.240, N4, с.934-937.
7. Войткевич Г.В., Мирошник А.Е., Поваренных А.С. и Прохоров В.Г. (1970). Краткий справочник по геохимии. М.,Изд. Недра, 280 с.
8. Carpenter V.S. (1972). Anal. Chem. V.44, p.600- 602.
9. Кашкаров Л.Л., Назаров М.А. и Кононкова Н.Н. (1994). Геохимия, N7, с.928-936.
10. Кашкаров Л.Л., Назаров М.А., Лоренц К.А., Калинина Г.В., Кононкова Н.Н. (1999). Астрономический вестник., т.33, № 4, с.1-8.