

**РАДИАЦИОННАЯ ИСТОРИЯ ИСКОПАЕМЫХ МЕТЕОРИТОВ, НАЙДЕННЫХ  
В ИЗВЕСТНЯКАХ ОРДОВИКА В ШВЕЦИИ****Алексеев В.А. (ГЕОХИ РАН)**

AVAL37@chgnnet.ru; 8 (499) 137-86-14

Ключевые слова: *ископаемые метеориты, радиационный возраст*

Около 500 млн. лет назад в поясе астероидов произошло катастрофическое разрушение родительского астероида одной из наиболее распространенных групп каменных метеоритов – L-хондритов. Свидетельством доставки на Землю фрагментов после этого события явилась необычно высокая распространенность ископаемых метеоритов в морских известняках на юге Швеции. В карьере Thorsberg в отложениях среднего ордовика (~480 млн. лет) найдено около 50 ископаемых метеоритов размером от ~1 до 20 см в диаметре. Неск и др. [1] измерили содержание благородных газов (изотопов He и Ne) в 23 образцах хромитовых зёрен из этих метеоритов. Масса каждого образца (от одного до нескольких зёрен) составляла от 4 до 40 мкг. Радиационные возрасты метеоритов, рассчитанные по содержанию космогенного  $^{21}\text{Ne}$  в хромитовых зёрнах, оказались менее или около 1 млн. лет и *увеличивались со стратиграфической высотой* нахождения метеоритов в отложении в согласии с оцененной продолжительностью формирования этого отложения (~1-2 млн. лет). Согласно [1], эти данные свидетельствуют о *продолжительном* (в течение нескольких миллионов лет) выпадении на Землю метеоритов после разрушения родительского тела (астероида) L-хондритов. Однако, результаты анализа данных [1] позволили сделать другие выводы [2].

В дальнейшем Неск и др. [3] провели исследование ископаемого метеорита, найденного в другом карьере – Gullhogen, находящемся в 35 км от карьера Thorsberg. В данном сообщении мы представляем результаты анализа всех данных, опубликованных в работах [1, 3].

Основная особенность, которая была отмечена в [2] при анализе данных [1], сохранилась: наблюдается чёткая отрицательная корреляция между массой образцов и измеренными в них содержаниями благородных газов –  $^4\text{He}$ ,  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{21}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  (рис. 1, табл. 1). Особенно неожиданной оказалась отрицательная корреляция между рассчитанными в [1, 3] значениями радиационных возрастов и массой образцов (табл. 1) как для всех метеоритов в целом, так и, особенно, для метеоритов двух групп: non-Ark (Gla 001, Goda 01, Tre 002, Sex 002, 003, Gol 001 и Gull 001) и Ark (Ark 002, 007 и 030). (Обозначения даны согласно [1, 3].)

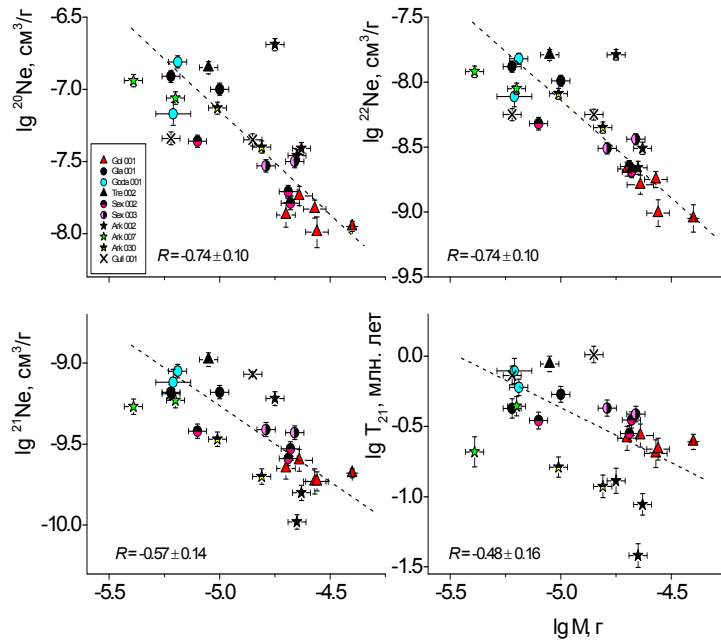
Очевидно, что радиационный возраст (продолжительность облучения метеорита космическими лучами перед его падением на Землю) не может зависеть от массы анализируемого образца. Такая корреляция получилась вследствие недооценки вклада нуклеогенного  $^{21}\text{Ne}_{\text{nucl}}$ , образовавшегося на земле в ядерной реакции  $^{18}\text{O}$  с  $\alpha$ -частицами (ядрами  $^4\text{He}$ ) от распада U и Th:  $^{18}\text{O}(\alpha, n)^{21}\text{Ne}$ . Величина этого вклада увеличивается с уменьшением размера зёрен. Вклад  $^{21}\text{Ne}_{\text{nucl}}$  был рассчитан в [1] в предположении, что отношение  $^{21}\text{Ne}_{\text{nucl}}/ ^4\text{He}_{\text{rad}} = 3.7 \cdot 10^{-8}$  для кристаллических пород (согласно [4, 5]).

**Таблица 1**

Коэффициенты корреляции между массой образцов и содержанием благородных газов или значениями радиационного возраста хромитовых зёрен из ископаемых метеоритов.

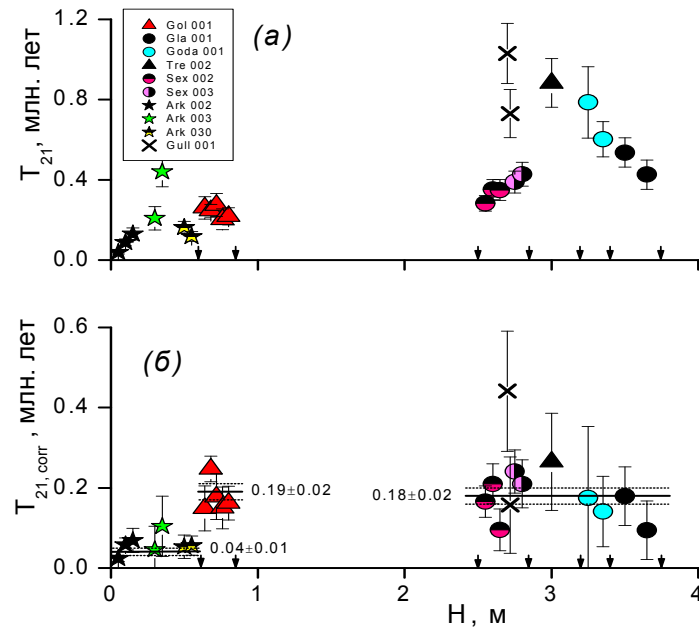
Метеориты	$^4\text{He}$	$^{20}\text{Ne}$	$^{21}\text{Ne}$	$^{22}\text{Ne}$	$T_{21}$
Все	-0.53±0.15	-0.74±0.10	-0.57±0.14	-0.74±0.10	-0.48±0.16
non-Ark *	-0.54±0.17	-0.87±0.06	-0.66±0.14	-0.85±0.07	-0.69±0.13
Ark *	-0.96±0.03	-0.98±0.02	-0.95±0.04	-0.95±0.04	-0.85±0.12

\* См. текст.



**Рис.1.** Содержания  $^{20,21,22}\text{Ne}$  и радиационные возрасты  $T_{21}$  в зависимости от массы образцов ископаемых метеоритов (по данным [1, 3]). Пунктир – линии регрессии, рассчитанные с учётом погрешности значений обеих координат.  $R$  – коэффициент корреляции

Однако величина этого отношения была найдена в [5] не для кристаллических пород, а для земных газов. Отношение  $^{21}\text{Ne}_{\text{nuc}}/^{4}\text{He}_{\text{rad}}$  в кристаллических породах может быть существенно выше, чем в земных газах из-за лучшего удержания  $^{21}\text{Ne}_{\text{nuc}}$  в породах по сравнению с  $^{4}\text{He}$  [6]. Учёт этого эффекта позволил нам рассчитать верхние предельные значения радиационных возрастов  $T_{21,\text{corr}}$ . Для всех образцов группы non-Ark эти значения совпали между собой в пределах ошибки (рис. 2). Среднее предельное значение возраста образцов этой группы найдено равным  $0.18 \pm 0.02$  млн. лет. Оказалось, что значения  $T_{21,\text{corr}}$  *не зависят* от положения метеорита в стратиграфической колонке (рис. 2б), в отличие от далеко неоднозначной зависимости (рис. 2а), предположенной в [1, 3]. Среднее предельное значение радиационного возраста для метеоритов группы Ark найдено равным  $0.04 \pm 0.01$  млн. лет.



**Рис.2.** Распределение значений радиационных возрастов ископаемых метеоритов по глубине колонки  $H$  относительно основания пласта Arkeologen. а)  $T_{21}$  – значения возрастов согласно данным [1, 3]; б)  $T_{21,\text{corr}}$  – значения  $T_{21}$ , скорректированные на зависимость от массы образца. Стрелками отмечены границы пластов. Горизонтальные линии соответствуют средним значениям ( $\pm 1\sigma$ )

Различие средних предельных значений возрастов двух групп может быть обусловлено различным вкладом  $\alpha$ -частиц от U и Th в образование  $^{21}\text{Ne}_{\text{nucl}}$  в исследованных хромитовых зёрнах из метеоритов, найденных в пласте Arkeologen и в выше лежащих пластах. В пользу этого предположения свидетельствует найденное различие в распределениях нормированных содержаний  $^4\text{He}$ .

*Выводы.* Найденные особенности в распределениях содержания благородных газов и радиационных возрастов ископаемых метеоритов могут быть объяснены в предположении падения одного метеоритного дождя в районе расположения карьеров Thorsberg и Gullhogen. Время этого события соответствует времени формирования в карьере Thorsberg самого древнего пласта с метеоритами. Метеориты в более молодых пластах оказались, вероятнее всего, в результате последующего переотложения в условиях мелководного моря. В этом случае нет необходимости в привлечении гипотезы интенсивного потока метеоритов на Землю в течение ~1-2 млн. лет около 480 млн. лет назад для объяснения характера распределения ископаемых метеоритов в отложениях среднего ордовика в Швеции.

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы П15 Президиума РАН*

### **Литература**

1. Heck Ph. R. et al. // Nature. 2004. V. 430. No. 6997. P. 323.
2. Alexeev V.A. // Abstracts of the 40th LPSC. 2009. CD ROM, 1003.pdf.
3. Heck Ph. R. et al. // Meteorit. Planet. Sci. 2008. V. 43. P. 517.
4. Leya I., Wieler R. // JGR. 1999. V. 104. P. 15439.
5. Tolstikhin I.N. In: Terrestrial Rare Gases, ed. by E.C. Alexander, Jr. and M. Ozima // Center Academic Publications. Japan. 1978. P. 33.
6. Верховский А.Б., Шуколюков Ю.А. // Геохимия. 1976. №5. С. 778.

---

*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-3.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/planet-3.pdf)*

*Опубликовано 1 сентября 2009 г.*

© *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*