

Возможная причина завышения радиационных возрастов ископаемых метеоритов Швеции

В. А. Алексеев

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

aval37@chgnnet.ru

Завышение радиационных возрастов ископаемых метеоритов Швеции может быть обусловлено примесным неоном с высоким содержанием ^{21}Ne .

Ключевые слова: ископаемые метеориты, радиационный возраст

Ссылка: Алексеев, В. А. (2012), Возможная причина завышения радиационных возрастов ископаемых метеоритов Швеции, *Вестник ОНЗ РАН*, 4, NZ9001, doi:10.2205/2012NZ_ASEMPG

Родительский астероид L-хондритов претерпел катастрофическое разрушение в космосе около 500 млн. лет назад. Свидетельство того, что это событие обусловило доставку на Землю фрагментов астероида вскоре после его разрушения, было найдено в виде необычно высокой распространенности ископаемых метеоритов в отложениях морских известняков в среднем ордовике (~480 млн. лет) на юге Швеции [Schmitz *et al.*, 1997; Heck *et al.*, 2004].

Heck *et al.* [2004, 2008] измерили содержание благородных газов в хромитовых зёрнах, выделенных из этих метеоритов, и рассчитали их радиационные возрасты. Анализ этих данных показал [Алексеев, 2010], что радиационные возрасты (T_{21}), рассчитанные Heck *et al.* [2004, 2008] по содержанию космогенного ^{21}Ne , в логарифмических координатах линейно зависят от массы (M) образцов. При этом значения T_{21} линейно зависят также от содержания в образцах ^{20}Ne (рис. 1). Здесь и далее параметры уравнения линий регрессии рассчитывались методом Вильямсона [Williamson, 1968; Алексеев, 2000] с учетом погрешности определения обеих координат.

Характерно, что наиболее сохранившимся хромитовым зёрнам свойственны низкие содержания ^{20}Ne и низкие значения радиационных возрастов, тогда как плохо сохранившиеся зёрна имеют высокие содержания ^{20}Ne и высокие значения T_{21} [Алексеев, 2010]. Существенно отметить, что данная зависимость проявляется не только для совокупности образцов разных метеоритов, но и для образцов одного метеорита (Brunflo).

Алексеев [2010] предположил, что найденное увеличение концентрации ^{21}Ne и соответствующих значений T_{21} при уменьшении массы образцов (размеров зерен) могло быть обусловлено неучтенным вкладом нуклеогенного ^{21}Ne при расчетах T_{21} . Однако результаты измерений Meier *et al.* [2010] содержания благородных газов в индивидуальных хромитовых зернах земного происхождения поставили под сомнение корректность предложенного Алексеевым [2010] объяснения найденной зависимости T_{21} от M , но не объяснили природу этой зависимости. Ниже предлагается возможное объяснение.

Мы сравнили зависимости содержания ^{21}Ne от ^{20}Ne в хромитовых зёрнах земного происхождения и в зёрнах, выделенных из ископаемых метеоритов (рис. 2). Параметры уравнения линий регрессии приведены в табл. Параметр $b = 0.00283 \pm 0.00088$ для хромитовых зёрен земного происхождения в пределах погрешности определения совпадает со значением величины отношения $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{atm}}$ для атмосферы (0.00298). Однако, параметр $b = 0.0084 \pm 0.0005$ для метеоритных зёрен существенно выше значения $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{atm}}$.

Выявленная аномальная зависимость содержания ^{21}Ne от содержания ^{20}Ne может быть объяснена наличием газов земного происхождения в примесях, не полностью удаленных из трещин, каверн, полостей хромитовых зерен метеоритов. Обогащение неона в газе этих примесей изотопом ^{21}Ne (при величине отношения для примесного неона $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}} \gg ^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{atm}}$) обусловит неучтенный вклад ^{21}Ne при расчете содержания космогенного $^{21}\text{Ne}_{\text{cos}}$. Величина этого вклада и соответствующие значения T_{21} будут увеличиваться при уменьшении размеров и сохранности выделенных зерен. О реальности такого обогащения можно судить по данным Верховского и др. [1976] для земных пород, в которых превышение отношения $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}$ по сравнению с таковым для земной атмосферы достигало 900%.

Мы рассчитали, какая массовая доля (α) примесного неона с заданной величиной отношения $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}}$ должна быть в неоне, выделенном из метеоритных образцов, для получения найденного наклона линии регрессии ($b=0.0084$). Результаты приведены на рис. 3. Так, например, при превышении величины отношения $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}}$ в 9 раз (как, например, у *Верховского и др.* [1976]) по сравнению с величиной этого отношения для атмосферы (т.е., $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}} = 0.0268$ и $K = ^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}} / ^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{atm}} = 9$) 23% (т.е. $\alpha = 0.23$) примесного неона в неоне, выделенном из метеоритных образцов, обусловят найденную величину коэффициента $b = 0.0084$ (табл.). Для величины отношения $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}} / ^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{atm}} = 5$ и, соответственно, $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}} = 0.0149$ для найденного значения коэффициента b массовая доля неона примеси должна составить уже 45% ($\alpha = 0.45$, рис. 3) и т.д. Обратим внимание на существенный момент. Мы говорим о (1) массовой доле примесного неона в неоне, выделенном из метеоритного образца, но не о (2) массовой доле вещества примеси в веществе метеоритного образца. Второе может быть существенно меньше первого при высокой концентрации неона в веществе примеси.

Вернёмся к параметрам уравнения линий регрессии на рис. 2 (табл.). Для хромитовых зёрен, выделенных из метеоритных образцов, величина параметра $a = (0.0081 \pm 0.0013) \times 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$ при скорости образования космогенного ^{21}Ne $P_{21} = 7.04 \times 10^{-10} \text{ см}^3 \text{ г}^{-1} \text{ млн. лет}^{-1}$ [Heck et al., 2004; 2008] соответствует радиационному возрасту 0.12 ± 0.02 млн. лет. Эта величина представляется наиболее вероятным значением радиационного возраста всех найденных метеоритов. Рассчитанные Heck et al. [2004; 2008] более высокие значения возрастов обусловлены, наиболее вероятно, неучтённым вкладом примесного ^{21}Ne . Величина этого вклада увеличивается с уменьшением сохранности и размеров хромитовых зёрен, что приводит к завышению радиационных возрастов.

Аналогичный расчёт для хромитовых зёрен земного происхождения согласно найденному значению параметра $a = (0.0066 \pm 0.0166) \times 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$ даёт значение “радиационного возраста”, в пределах погрешности определения не отличающееся от нуля: $T_{21} = 0.09 \pm 0.24$ млн. лет. Отметим, однако, сравнительно высокую в этом случае погрешность определения возраста, более чем на порядок величины превышающую таковую для метеоритных образцов.

Результаты выполненного анализа позволяют понять причину завышения радиационных возрастов ископаемых метеоритов. Эти результаты являются дополнительным доводом в пользу гипотезы, что все найденные на юге Швеции ископаемые метеориты могут быть фрагментами одного большого метеорита, выпавшего в виде метеоритного дождя в районе карьера Thorsberg ~470 млн. лет назад примерно через 120 тыс. лет после катастрофического разрушения родительского тела L-хондритов.

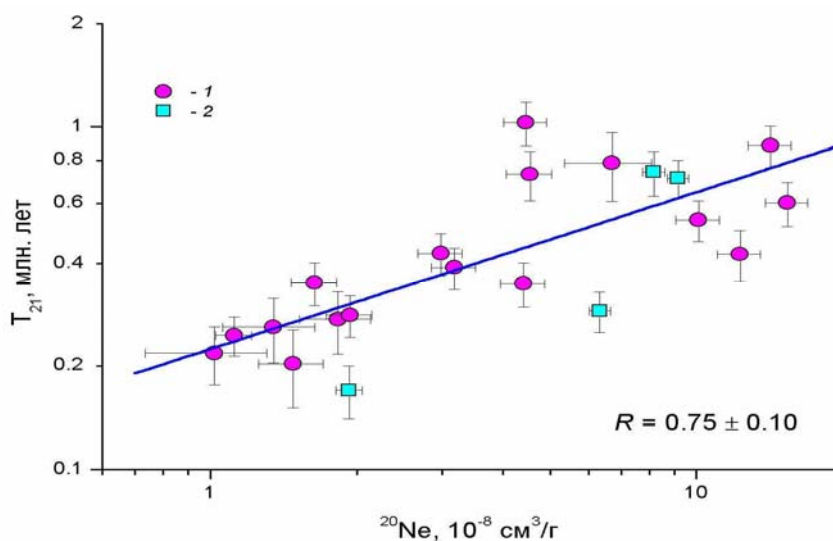


Рис. 1. Значения радиационного возраста ископаемых метеоритов (T_{21}) в зависимости от содержания ^{20}Ne в образцах хромитовых зёрен. 1 – метеориты non-Ark группы [Алексеев, 2010]; 2 – образцы метеорита Brunflo. Прямая – линия регрессии. (По данным Heck et al. [2004, 2008]; Heck [2005].)

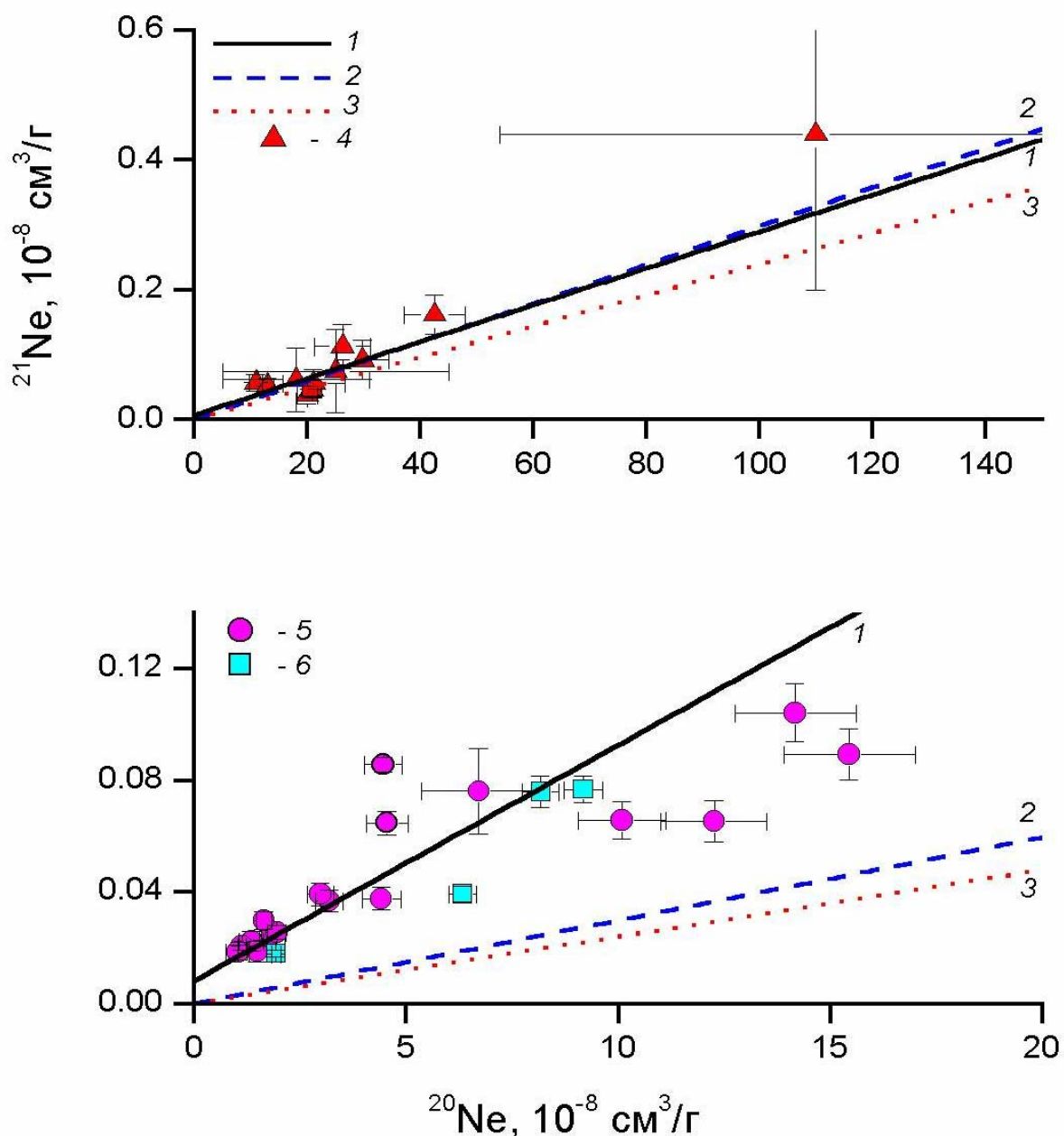


Рис. 2. Содержание ^{21}Ne в зависимости от ^{20}Ne в хромитовых зёрнах земного происхождения (4; наверху) и в зёрнах, выделенных из ископаемых метеоритов (внизу). 1 – линии регрессии; 2 и 3 – соотношения изотопов для неона земной атмосферы ($^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne} = 0.00298$) и солнечного ветра ($^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne} = 0.00239$), соответственно; 5 – метеориты non-Ark группы; 6 – образцы метеорита Brunflo. (По данным Heck et al. [2004, 2008]; Heck [2005]; Meier et al. [2010].)

Таблица. Параметры уравнения линий регрессии $^{21}\text{Ne} = a + b \times ^{20}\text{Ne}$ (рис. 2) для хромитовых зёрен земного происхождения (ОС) и из ископаемых метеоритов.

Образцы	$a, 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$	b	R
ОС (11)	0.0066 ± 0.0166	0.00283 ± 0.00088	0.70 ± 0.16
Метеориты (21)	0.0081 ± 0.0013	0.0084 ± 0.0005	0.78 ± 0.09

Примечания: В скобках приведено число образцов. R – коэффициент корреляции. (По данным Heck et al. [2004, 2008]; Heck [2005]; Meier et al. [2010].)

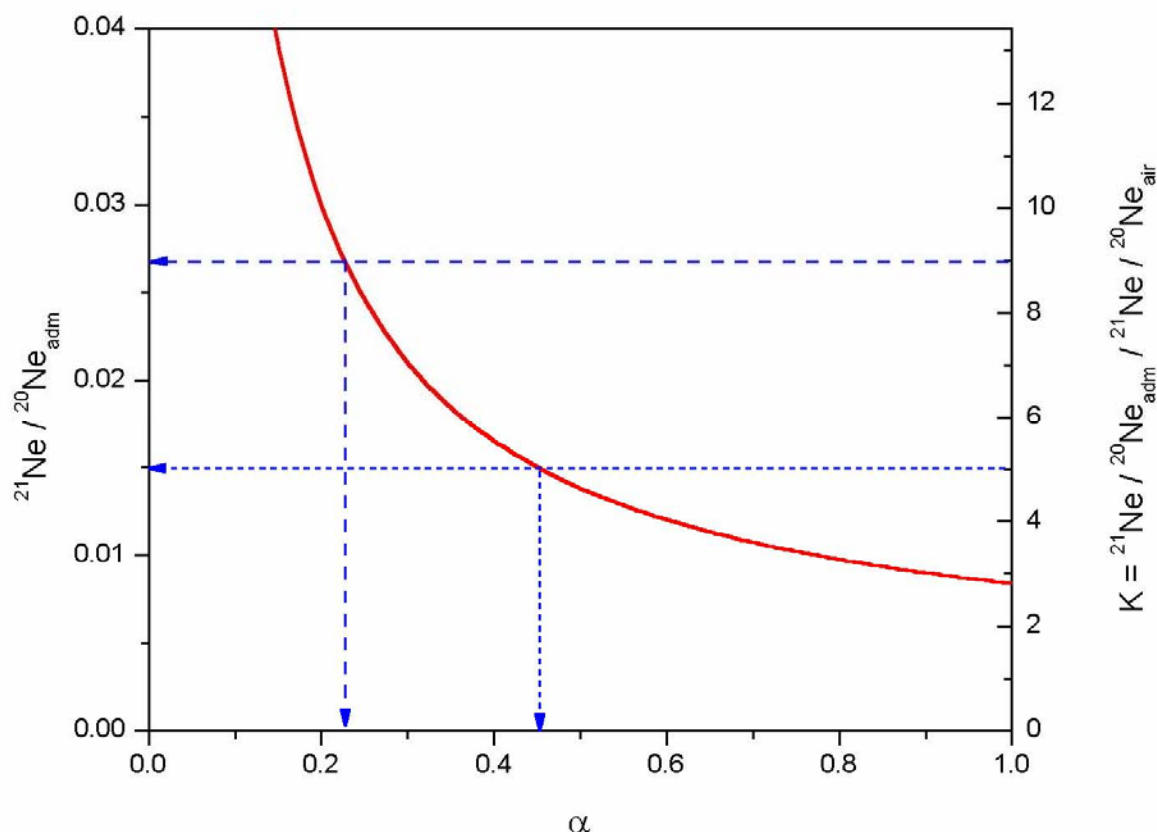


Рис. 3. Соотношение величины $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}}$ в примесном неоне и массовой доли (α) этого неона в неоне, выделенном из метеоритного образца, для получения найденного значения величины $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{meas}} = 0.0084$ (согласно рис. 2 и табл.). Уравнение кривой: $^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{adm}} = (^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{meas}} - ^{21}\text{Ne}/^{20}\text{Ne}_{\text{atm}}) / (1 - \alpha)$

Работа частично поддержана Программой № 22 фундаментальных исследований Президиума РАН.

Литература

- Алексеев, В. А. (2000). К вопросу об оценке ошибок параметров “наилучшей” прямой, проводимой через экспериментальные точки при геохимических исследованиях, *Геохимия*, №8, сс. 909–912.
- Алексеев, В. А. (2010). Радиационная история ископаемых метеоритов Швеции, *Астрон. вестник*, 44, №4, сс. 336–344.
- Верховский, А. Б. и др. (1976). Изотопы неона в минералах с избыточным содержанием гелия и аргона, *Геохимия*, №3, сс. 315–322.
- Heck, Ph. R. (2005). Helium and neon in presolar silicon carbide grains and in relict chromite grains from fossil meteorites and micrometeorites as tracers of their origin, *Diss. ETH* No. 16251. Zurich, 157 p. (<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:28217/eth-28217-02.pdf>).
- Heck, Ph. R., et al. (2004). Fast delivery of meteorites to Earth after a major asteroid collision, *Nature*, 430, No. 6997, pp. 323–325.
- Heck, Ph. R., et al. (2008). Noble gases in fossil micrometeorites and meteorites from 470 Myr old sediments from Southern Sweden and new evidence for the L chondrite parent body breakup event, *Meteorit. Planet. Sci.*, 43, pp. 517–528.
- Meier, M. M. M., et al. (2010). Noble gases in individual L chondritic micrometeorites preserved in an Ordovician limestone, *Earth Planet. Sci. Lett.* 290, No.1-2, pp. 54–63.
- Schmitz, B., et al. (1997). Accretion rates of meteorites and cosmic dust in the Early Ordovician, *Science*, 278, No 5335, pp. 88–90.
- Williamson, J. H. (1968). Least-squares fitting of a straight line, *Canadian J. of Physics*, 46, pp. 845–1847.