

В. М. ЕРШОВ, И. Н. СЕНЬКО-БУЛАТНЫЙ, Р. Л. ХАРУС

ИССЛЕДОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

(Представлено академиком Г. Н. Флеровым 4 V 1975)

Распространенность элементов и их стабильных изотопов отражает свойства нуклидов, условия их образования и нахождения. У элементов нечетных атомных номеров, имеющих два стабильных изотопа, обычно более распространенным является легкий изотоп. Однако этой закономерности, установленной Гаркинсом, не подчиняются литий, бор, европий, иридий, таллий (¹).

Известные механизмы разделения стабильных изотопов в природе (^{2, 3}) не могут обусловить наблюдаемые аномалии изотопных отношений. Однако ядерные процессы, ведущие к превращению и новообразованию элементов, вызывают значительные изменения в соотношении изотопов (^{4, 5}).

Легкие изотопы указанных выше элементов обладают аномально большим поперечником поглощения нейтронов по сравнению с соответствующими тяжелыми изотопами (см. табл. 1). Очевидно, среднее время жизни

Таблица 1

Элементы	Изотопы	Распространенность изотопов, %	Сечение поглощения σ , бари.	Интегральный поток нейтронов, рассчитанный с учетом распространенности элементов, см ⁻²	
				в земной коре	в углистых хондритах
³ Li	⁶ Li	7,42	945	$1 \cdot 10^{20} - 3 \cdot 10^{20}$	$5,2 \cdot 10^{20}$
	⁷ Li	92,58	$3,6 \cdot 10^{-2}$		
⁵ B	¹⁰ B	19,61	3838	$1 \cdot 10^{20} - 2 \cdot 10^{20}$	$1,4 \cdot 10^{20}$
			4010		
	¹¹ B	80,39	$5 \cdot 10^{-3}$ $8,5 \cdot 10^{-5}$		
⁶³ Eu	¹⁵¹ Eu	47,82	1400	$1 \cdot 10^{19} - 2 \cdot 10^{19}$	$3,9 \cdot 10^{20}$
	¹⁵³ Eu	52,18	420		
⁷⁷ Ir	¹⁹¹ Ir	37,30	960	$2 \cdot 10^{20} - 6 \cdot 10^{20}$	$2,4 \cdot 10^{20}$
	¹⁹³ Ir	62,70	130		
⁸¹ Tl	²⁰³ Tl	29,50	129	$2 \cdot 10^{19} - 7 \cdot 10^{21}$	$6,8 \cdot 10^{21}$
	²⁰⁵ Tl	70,50	0,8		

легких изотопов этих элементов в нейтронных потоках по сравнению с тяжелыми значительно меньше, и взаимодействие их ядер с нейтронами должно вести к изменению изотопных отношений.

Таким образом, считая, что Li, B, Eu, Ir, Tl в некоторый момент не являлись исключением из правила Гаркинса (отношение тяжелого изотопа к легкому не превышало единицы), оценим нейтронный поток, который мог вызвать изменение изотопных отношений до наблюдаемых в настоящее время.

Изменение содержания изотопа N_i во времени в результате ядерных реакций описывается системой уравнений вида

$$\frac{dN_i}{dt} = Q_i(t) - P_i(t)N_i, \quad (1)$$

где

$$Q_i(t) = f(t) \sum_{k \neq i} \sigma_k N_k,$$

$Q_i(t)$ — скорость образования i -го изотопа в результате нейтронных реакций с сечением σ_k на k -ом изотопе;

$$P_i(t)N_i = f(t)\sigma_i N_i,$$

$P_i(t)N_i$ — скорость убывания i -го изотопа; $f(t)$ — нейтронный поток, $\text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

В рассматриваемых нами случаях уравнения для изотопов N_k имеют вид (1) с $Q_k(t) = 0$, поэтому их можно решить независимо, и изменение содержания N_i описывается линейным дифференциальным уравнением.

При определении функций $P_i(t)$ и $Q_i(t)$ для каждого изотопа учитывались все известные ядерные реакции, изменяющие его концентрацию (⁶⁻⁸). Не приняты во внимание лишь те ядерные процессы, вклад которых меньше точности расчета.

Интегральный нейтронный поток

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

определялся решением системы уравнений типа (1) при начальном значении изотопных отношений, равном единице.

В табл. 1 приведены результаты расчета нейтронного потока исходя из современной распространенности элементов в углистых хондритах (протопласте Земли) и земной коре (^{9, 10}). Расчеты показывают, что наблюдаемые аномалии изотопных отношений указанных элементов могут быть обусловлены ядерными реакциями на нейтронах, интегральный поток которых составляет около 10^{20} нейтронов/см². Близость полученных для всех пар изотопов значений интегрального потока нейтронов делает обоснованным предположение об обусловленности наблюдаемых аномалий изотопных отношений нейтронными ядерными реакциями. Величины нейтронного потока, рассчитанные по распространенности элементов в углистых хондритах, особенно близки, что, вероятно, является дополнительным свидетельством сходства химического состава протопласта Земли и указанных метеоритов.

Так как аномальные изотопные отношения рассматриваемых элементов наблюдаются в молодых и древних, осадочных и изверженных породах, а также метеоритах (^{1, 9, 11}), то это дает основание предполагать, что облучение происходило в основном в догеологическое время. Такое предположение в известной мере согласуется с гипотезой (¹²⁻¹⁴) многостадийного происхождения вещества планет солнечной системы. Возможно, что вычисленная величина интегрального потока нейтронов характеризует процесс нуклеосинтеза.

Авторы благодарны чл.-корр. АН СССР Ю. П. Булашевичу и А. К. Лаврухиной за просмотр рукописи и полезные замечания.

Институт геофизики
Уральского научного центра
Академии наук СССР
Свердловск

Поступило
29 IV 1975

- ¹ К. Ранкама, Изотопы в геологии, М., ИЛ, 1956.
- ² И. Ингерсон, Сб.: Изотопы в геологии, Под ред. А. В. Трофимова и Д. И. Щербакова, М., ИЛ, 1954.
- ³ А. Н. Бродский, Химия изотопов, М., Изд. АН СССР, 1957.
- ⁴ А. К. Лаврухина, Усп. хим., т. 28, 1310 (1959).
- ⁵ А. К. Лаврухина, Г. М. Колосов, Образование химических элементов в космических телах, М., Госатомиздат, 1962.
- ⁶ Б. С. Желепов, Л. К. Пекер, Схемы распада радиоактивных ядер. $A < 100$, М.—Л., «Наука», 1966.
- ⁷ Б. С. Желепов, Л. К. Пекер, В. О. Сергеев, Схема распада радиоактивных ядер, $A \geq 100$, М.—Л., Изд. АН СССР, 1963.
- ⁸ Справочник по ядерной физике, М., Гос. изд. физ.-матем. литературы, 1963.
- ⁹ A. G. Cameron, Origin and Distribution of the Elements, N. Y.—London, 1968, p. 125.
- ¹⁰ А. П. Виноградов, Геохимия, т. 7, 555 (1962).
- ¹¹ Л. В. Бершов, А. М. Борсук и др., Геохимия, Минералогия, Петрография, М., ВИНТИ, 1971.
- ¹² E. M. Burbidge, E. R. Burbidge et al., Rev. Mod. Phys., v. 29, 4, 548 (1957).
- ¹³ R. A. Alpher, R. C. Herman, Rev. Mod. Phys., v. 22, 2, 153 (1950).
- ¹⁴ Э. В. Соболевич, Изотопы свинца в геохимии и космохимии, М., Атомиздат, 1970.