



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-180

Д12-98-180

Ю.Т.Чубурков

СРАВНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ
ВЕНЕРЫ, ЗЕМЛИ, МАРСА И ХОНДРИТОВ
В СВЕТЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА
Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Направлено в журнал «Радиохимия»

1998

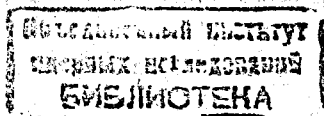
I. Введение

В работе [1] обращено внимание на корреляцию между отношением распространенностей некоторых элементов E_A (element abundance), в исходном веществе астероидов K_A (средний радиус орбит $R_A \approx 2,8$ астрономических единиц, а.е.) и Земли K_E (средний радиус орбиты, $R_E = 1$ а.е.) и значением их первых потенциалов ионизации L_1 (в качестве K_A были приняты E_A хондритов, K_{CH} , а в качестве K_E - содержание элементов в гипотетическом веществе мантии Земли K_{EM}):

$$\ln(K_{CH}/K_{EM}) \approx f(L_1). \quad (1)$$

Функциональная зависимость (1) объяснялась протеканием процесса магнитной сепарации элементов в протопланетном облаке до аккреции вещества вдоль радиуса Солнечной системы R . Отсюда предсказывалось различие значений E_A в исходных веществах Венеры, Земли и Марса. Предсказано также, что в исходных веществах планет земного типа должен быть дефицит кислорода (имеющего высокое значение $L_1 = 13,6$ эВ) по сравнению с элементами Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, составляющими основную часть масс этих планет. Сказанное выше выходит за рамки общепринятого хондритного постулата, согласно которому относительное содержание элементов в исходном веществе планет равно их относительному содержанию в хондритах. Например, для кислорода общепринято $K_E \geq 30\%$ (массовых).

В настоящей работе предпринята попытка устранить имеющее место значительное отклонение соответствующих экспериментальных данных для некоторого числа элементов от корреляции, следующей из формулы (1). С этой целью кроме L_1 были учтены и другие физико-химические параметры атомов и молекул, влияющие на поведение элементов в протопланетном облаке. Кроме того, с целью дополнительного независимого доказательства существования предсказанной сепарации элементов на ранней стадии образования Солнечной системы проанализированы данные по элементным составам образцов пород Венеры, Земли, Марса и хондритов в свете Периодического закона Д.И. Менделеева.



II. Физико-химическое состояние элементов в Протопланетном облаке

Примем, что у каждого элемента в Протопланетном облаке доли атомов, находящихся в химически связанном N_m , и свободном, $N = 1 - N_m$, состояниях существуют в равновесии. А в свою очередь, атомы в нейтральном, N_0 , и заряженных, N^+ и N^- , состояниях, также будут находиться в равновесии между собой. Соотношения чисел атомов в разных состояниях будут определяться, в основном, их относительной распространенностью, взаимным химическим сродством и степенью взаимодействия их форм (атомов и молекул) с ионизирующим излучением Солнца. Если у какой-то формы элемента центробежная составляющая скорости будет значительно выше, чем у других, т.е., она (форма) будет "выметаться" из системы, то равновесие, упомянутое выше, будет носить динамический характер.

Наиболее быстро и свободно в магнитном поле Солнца, вероятно, будут двигаться свободные нейтральные атомы элементов, доля которых определена как N_0 . С целью оценки N_0 принято, что вероятности диссоциации молекул, которые, исходя из химического сродства, образуют в этих условиях элементы (см. Табл. 1), будут пропорциональны отношениям между энергиями разрыва химических связей в молекулах, D , и энергиями фотонов, испускаемых Солнцем. Максимальные энергии солнечных фотонов равны, в основном, оптическим пределам: L_H, L_{He} , и L_{He}^+ атомов H, He и иона He^+ . Суммарную вероятность релаксации соответствующих ионов H^+ , He^+ и He^{2+} можно приравнять к единице, т.к. водород и гелий составляют основную массу Солнца:

$$P_{H^+} + P_{He^{2+}} + P_{He^+} = 1. \quad (2)$$

Значение N , пропорциональное доле диссоциированных молекул, можно оценить по выражению

$$N = (1 - D_1P)(1 - D_2P)(1 - D_3P) \dots (1 - D_nP), \quad (3)$$

где $D_1 \dots D_n$ - энергия связи атомов, общее число которых в молекуле равно n ,

$$P = P_{H^+}/L_H + P_{He^{2+}}/L_{He^{2+}} + P_{He^+}/L_{He^+}.$$

Относительные доли отрицательных и положительных ионов, J^- и J^+ , можно найти, учитывая сродство к электрону, Ea , и потенциалы

ионизации всех валентных электронов атомов данного i -того элемента. L_i по уравнениям:

$$J^- = EaP \quad (4)$$

и

$$J^+ = (1 - EaP)[(1 - L_1P) + (1 - L_1P)(1 - L_2P) + \dots + (1 - L_1P)(1 - L_2P)(1 - L_3P) \dots (1 - L_vP)], \quad (5)$$

где $L_1 \dots L_v$ - потенциалы ионизации валентных электронов, v - число валентных электронов данного элемента.

Используя уравнения (3) - (5), получим:

$$N_0 = N(1 - J^- - J^+). \quad (6)$$

Вычисленные значения долей N_0 атомов всех элементов даны в Табл. 1.

III. Распределение всех элементов между Землей и хондритами

а. Менее летучие элементы

Значения N_0 в работе [2] использованы (вместо L_1) для получения функциональной зависимости, аналогичной уравнению (1). С этой целью в качестве K_A и K_E были приняты в хондритах, K_{CH} , и в изверженных породах Земли, K_{IR} , соответственно. Их отношения в полулогарифмическом масштабе были отложены в зависимости от N_0 . Экспериментальные данные большинства элементов, см. Рис. 1, хорошо аппроксимируются прямой:

$$\ln(K_{CH}/K_{IR}) = a + bN_0, \quad (7)$$

где $a = -3,54 \pm 0,15$ и $b = 19,4 \pm 0,71$ и Δy - среднеквадратичное отклонение величины $\ln(K_{CH}/K_{IR})$, не превышающее 0,36 [3].

Однако некоторые более летучие элементы имели все же значительно большие значения Δy , и зависимость их экспериментально найденных отношений K_{CH}/K_{IR} от N_0 неудовлетворительно описывалась уравнением (7).

Таблица 1

Доля свободных нейтральных атомов в протопланетном облаке*

Наиболее вероятные соединения	N_o	Наиболее вероятные соединения	N_o
1	2	1	2
H ₂	0,630	Kr	0,887
He	0,925	Rb ₂ O ₂	0,136
Li ₂ O ₂ H ₂	0,167	SrO	0,113
Be ₂ Cl ₂	0,173	Y ₂ O ₃	0,119
B ₂ Cl ₄	0,164	ZrO ₂	0,143
C(O, H, N)	0,206	NbO ₂	0,092
N(O, H, C)	0,190	MoO	0,246
O(C, N, M, H)	0,220	RuS ₂	0,330
F(Al, Ca)	0,208	RhO	0,285
Ne	0,911	Pd(OH) ₄	0,272
Na ₂ O ₂ H ₂	0,150	Ag ₃ Cl ₃	0,241
Mg(OH) ₂	0,229	Cd ₂ Cl ₄	0,356
AlOF	0,133	InCl ₃	0,178
Si ₂ O ₂	0,179	SnO ₂	0,241
PO ₂	0,217	Sb ₂ O ₅	0,184
SO ₂	0,274	TeO ₂	0,268
Cl(Fe, Ni и др.)	0,284	ИH	0,573
Ar	0,885	Xe	0,770
K ₂ O ₂ H ₂	0,109	Cs ₂ O ₂	0,130
Ca(OH) ₂ [F] ₂	0,172	BaO	0,061
Sc ₂ O ₃	0,156	LaO	0,075
TiO ₂	0,160	HfO ₂	0,166
VO ₂	0,171	TaO ₂	0,110
CrO	0,250	WO ₂	0,240
Mn(OH) ₂	0,216	ReO ₂	0,238
FeCl ₃ [(OH) ₃]	0,243	OsO ₄	0,330
CoCl ₂	0,243	IrOCl	0,315
NiCl ₂	0,310	PtOCl ₂	0,304
CuCl ₂	0,224	AuCl ₃	0,286
Zn ₂ Cl ₂	0,307	HgCl ₂	0,458
Ga ₂ O	0,160	Tl ₂ Cl ₆	0,188
GeO ₂	0,221	PbCl ₂	0,225
As ₂ O ₃	0,236	BiO	0,158
SeO	0,274	ThO ₂	0,050
BrH	0,440	UO ₂	0,100

* см. работу [2].

а. Более летучие элементы

Элементы, имеющие необъяснимо высокие значения Δy - это газообразные или низкокипящие элементы: N, O, F, Ne, Cl, Ar, Zn, Br, Kr, Cd, J, Xe и Hg. Металлы Zn, Cd и Hg к тому же не имеют конгруэнтно кипящих оксидов. Очевидно, для указанных выше "летучих" элементов использовать равенство $K_E = K_{IR}$, как это было принято выше для "нелетучих" элементов, нельзя. Другими словами, в данном случае следует учесть коэффициенты возможного обогащения изверженных пород, f , "летучими" элементами. С этой целью оценим их с помощью уравнения: $(K_{CH}/K_E)_{(T)}/(K_{CH}/K_{IR}) = K_{IR}/K_E = f$, здесь $(K_{CH}/K_E)_{(T)}$ получено по уравнению (7).

В Табл. 2 указаны такие значения f , которые требуются для согласования соответствующих данных летучих элементов с уравнением (7).

Из этих данных можно видеть, что у химически активных летучих элементов (условно с $N_o < 0,5$) значения f лежат в интервале $3 \div 60$, за исключением Br, для которого $f = 740$ при $N_o = 0,440$. Если учесть кроме диффузии элементов и конвекцию вещества в мантии Земли [2, 4], то эти значения f в первом приближении можно принять в качестве реальных коэффициентов обогащения химически активными элементами, $f_{a.e.}$, литосферы (изверженных пород).

Известно [10], например, что определенные одновременно для Zn, Cd и Hg в интерметалле InSb при $T < 800K$ коэффициенты диффузии, $(D_o/\text{см}^2\text{с}^{-1}) \cdot 10^6$, равны: 1,6, 10 и 4, соответственно. Можно видеть, что соотношения указанных D_o согласуются с соотношением $f_{a.e.}$ этих элементов (см. Табл.2).

Используя $f_{a.e.}$, можно приближенно оценить K_E для таких летучих элементов в исходном веществе Земли, которые с точностью сделанного допущения будут согласовываться с уравнением (7), см. табл. 2.

Однако, химически инертные элементы с $N_o < 0,5$ (Ne, Ar, Kr, Xe и J) для той же цели нуждаются в значениях f , лежащих в интервале $10^4 \div 10^6$. Такие очень высокие значения для соответствующих коэффициентов обогащения инертных элементов, $f_{i.e.}$ принять даже в нулевом приближении не представляется возможным.

С целью преодоления этого несоответствия, примем, что хондриты - это осколки гипотетической планеты, какое-то время существовавшей на орбите со средним радиусом $R_i = 2,8a.e.$ После фрагментации планеты, вещество фрагментов (частично расплавленное ("ки-

Таблица 2

Оценочные значения K_A и K_E для химически активных и инертных летучих элементов по данным K_{IR}, K_{CH} .

Элементы	N	O ⁺	F	Ne	Cl	Ar	Zn	Br	Kr	Cd	I	Xe	Hg
$(K_A = K_{CH})/\% \times 10^4$	4	$3,5 \cdot 10^5$	28	$6 \cdot 10^{-3}$	70	0,7*	50	0,5	$7 \cdot 10^{-5}$ *	0,1	$4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$ *	1
$(K_E = K_{IR})/\% \times 10^4$	20	$4,35 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^{-3}$	130	3,5	70	3	$1 \cdot 10^{-4}$	0,2	0,5	$3 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-2}$
$(\frac{K_{CH}}{K_E} \cdot \frac{K_A}{K_{CH}})_{IR} = K_{IR}/K_E = f$	6,8	3	3	$1 \cdot 10^{6**}$	13	$4 \cdot 10^{6**}$	16	$7 \cdot 10^{3**}$	$1 \cdot 10^{6**}$	58	$2 \cdot 10^{4**}$	$1 \cdot 10^{4**}$	17
$(K_E = K_{IR}/f_{a.e.})/\% \times 10^4$	3	$1,7 \cdot 10^5$	17	-	10	-	4	$4 \cdot 10^{-3+++}$	-	$3 \cdot 10^{-3}$	-	-	$5 \cdot 10^{-3}$
$\frac{K_A}{K_{CH}} = \sqrt{f} = f_{i.e.} = f_{i.e.}$	-	-	-	$> 1 \cdot 10^3$	-	$2 \cdot 10^3$	-	~ 27	$> 1 \cdot 10^3$	-	$\sim 2 \cdot 10^2$	$> 1 \cdot 10^2$	-
$(K_A = K_{CH} \cdot f_{i.e.})/\% \times 10^4$	-	-	-	> 6	-	$> 1 \cdot 10^3$	-	~ 14	$> 0,1$	-	~ 2	$> 4 \cdot 10^{-2}$	-
$(K_E = K_{IR}/f_{i.e.})/\% \times 10^4$	-	-	-	$< 4 \cdot 10^{-6}$	-	$< 1,6 \cdot 10^{-3}$	-	$\sim 0,1$	$< 1 \cdot 10^{-7}$	-	$\sim 3 \cdot 10^{-3}$	$< 3 \cdot 10^{-7}$	-

+ - для кислорода $K_A < K_{CH}$, см. текст. K_E лежит в интервале 11-25 % [2].* - для инертных газов в качестве K_{CH} приняты их концентрации во фракции "Chromite", K_{ch} , хондрита Алленде, см. текст, погрешности определения K_A , не превышающие 20 %, даны в работе [6]** - аномально высокие значения f , объяснение которых не представляется возможным без дополнительных допущений, см. текст.+++ - значения $K_{IR}/f_{a.e.}$ для Br приведено для сравнения; по поведению Br в указанных выше процессах, видимо, ближе к I, чем к Cl, поэтому для него более приемлемы $f_{a.e.}(f_{i.e.})$, чем $f_{a.e.}$

пящее"), т.к. в недрах планеты до этого были высокие температура и давление) могло в значительной мере потерять газообразные элементы, не имеющие в этих условиях прочных химических связей с менее летучими элементами. Следовательно, приближенное равенство $K_A = K_{CH}$, используемое ранее для химически активных летучих элементов, в данном случае использовать нельзя. Очевидно, что для химически инертных летучих элементов будет справедливо неравенство $K_A > K_{CH}$ и тогда $(K_A/K_E)_{IR}/(K_{CH}/K_{IR})$ не будет равно K_{IR}/K_E . Следовательно, у инертных летучих элементов коэффициенты обогащения $f_{i.e.} = K_{IR}/K_E$ становятся сопряженными с коэффициентами их обеднения $f'_{i.e.} = K_A/K_{CH}$. Если принять, что $f_{i.e.} = |f'_{i.e.}|$, то их значения будут лежать в интервале $\sqrt{10^4} \div \sqrt{10^6}$. Значения $f_{i.e.}$, равные $10^2 \div 10^3$, уже становятся более приемлимыми в качестве первых приближений к их истинным значениям, особенно, если учесть, что объем литосферы значительно меньше объема Земли. Поэтому, $f_{i.e.}$ (и $f'_{i.e.}$, как сопряженную с ней величину) также можно использовать для приближенных оценок $K_E(K_A)$ в рамках данного допущения (см. Табл. 2).

В Табл. 2 в качестве K_{CH} указаны концентрации Ne, Ar, Kr и Xe в тугоплавкой фракции (chromite), K_{ch} , хондрита Алленде [5]. Тугоплавкие фракции вещества фрагментов гипотетической планеты, если и могли быть расплавлены, то должны были бы кристаллизоваться значительно раньше основной части их вещества. Поэтому примем, что для летучих инертных элементов $K_{ch} > K_{CH}$. Отсюда полученные значения $f_{i.e.}$ и $f'_{i.e.}$ будут являться соответствующими пределами истинных значений этих коэффициентов (см. Табл. 2).

В качестве K_E инертных газов в Табл. 2 взяты их $K_{IR}/f_{i.e.}$. (Отметим, что согласно уравнению (7), тела, попадающие на планету с внешних орбит должны иметь значительно отличающийся элементный состав от состава данной планеты. В этом случае инертные газы, приносимые на планеты из космоса, будут искажать исходные относительные составы газов в планетарных атмосферах. Поэтому вряд ли целесообразно для EA инертных газов в исходном веществе Земли и планет земного типа было бы использовать их содержание в атмосферах этих планет [2, 6]).

Из сказанного выше можно видеть, что в данном случае для согласования соответствующих данных летучих элементов с уравнением (7) необходимо было получить приемлемые значения $f_{a.e.}$, $f_{i.e.}$ и $f'_{i.e.}$. Таким образом, с точностью сделанных выше допущений и полученных

значений коэффициентов обогащения (обеднения) соотношения концентраций в хондритах и Земле у всех химических элементов теперь согласуются с протеканием процесса их сепарации в протопланетном облаке.

Из данных Табл. 2 можно также видеть, что K_A у летучих элементов, имеющих достаточно большие N_o , заметно превосходит их K_E , как и у менее летучих элементов [2]. Кроме того, вещество Земли (видимо, и планет земного типа) обеднено, по сравнению с Солнцем, элементами с $N_o > 0,2$. Например, макроэлемент кислород ($N_o = 0,208$) имеет оценочное значение K_E почти в три раза меньше, чем то, которое можно было бы ожидать, исходя из хондритного постулата (см. выше).

Дефицит кислорода в веществе мантии Земли, очевидно, должен проявиться при изучении элементного состава глубинных флюидов. Они при этом должны обогащаться металлами, особенно имеющими менее устойчивые оксиды и летучие формы (металлы, гидриды, хлориды, сульфиды, низшие оксиды, органические и др. соединения). Несмотря на существующий фон (техногенный и космический [3]), в местах разгрузки таких флюидов упомянутый эффект должен отчетливо проявляться. В работе [2] указаны и другие возможные следствия дефицита кислорода в мантии Земли и планет земного типа (см. также [7]).

Отметим, что для кислорода величина $K_{CH} = 35\%$ (массовых) получена без учета кислородного барьера земной атмосферы. Дело в том, что химически ненасыщенное кислородом вещество фрагментов мантий гипотетической планеты достичь поверхности Земли не может. Все макрометаллы (Na, Mg, Al, Si, K и Ca) очень химически активны и при соприкосновении с атмосферой Земли будут сгорать в ее кислороде с образованием белых мелкодисперсных оксидов, способных вызывать свечение неба. Очевидно, что при входе в атмосферу большой массы такого ненасыщенного кислородом вещества возможен взрыв, напоминающий тунгусское событие, а при малой массе - метеоры. Поэтому, если относительный элементный состав Тунгусского метеорита (ТМ) окажется близким к составу хондритов, то среди астероидов должны быть представители, способные гореть в атмосфере Земли, т.е. содержащие полиметаллы, оставшиеся неокисленными из-за дефицита кислорода в мантии их материнской планеты.

IV. Сепарация элементов в Солнечной системе в свете Периодического Закона

С целью доказательства существования процесса сепарации элементов в протопланетном облаке, было сделано допущение о существовании гипотетической планеты. С целью окончательного доказательства существования упомянутого выше процесса необходимо и достаточно будет показать, что относительные элементные составы существующих планет, например, Венеры и Марса, также зависят от N_o и от средних радиусов их орбит, R_i .

В настоящее время известны результаты элементных анализов лишь нескольких образцов поверхностных пород Венеры [7] и Марса [8]. Основной трудностью для использования этих данных с указанной выше целью является "фон", обусловленный процессами дифференциации вещества в телах планет.

В работах [2, 3] было предложено эти данные анализировать в свете Периодического Закона.

С целью пояснения этого способа, сравним составы двух земных пород, имеющих разные степени метаморфизма [2], - это изверженные и карбонатные породы. Элементы разных групп Периодической системы: Na, Mg, Al, Zr и P имеют среднеквадратичные отклонения их E_A в этих породах от средних значений \overline{EA} по обеим породам равные: 0,61, 0,32, 0,79, 0,80 и 0,36, соответственно.

В тех же породах отношения концентраций $K_{(1)}/K_{(2)}$ у двух элементов $Z_{(1)}/Z_{(2)}$, принадлежащих к одной и той же группе: Na/K, Mg/Sr, Al/Jn, Ti/Zr и P/As, имеют среднеквадратичные отклонения от средних значений этих же отношений по двум породам равные: 0,12, 0,16, 0,08, 0,26 и 0,08, соответственно. Из этих данных можно видеть, что таким способом последствия разного по глубине метаморфизма пород могут быть снижены до минимума.

Отметим, что с определенной осторожностью можно сравнивать отношения концентраций у элементов, взятых из разных групп Периодической системы, но имеющих близкие между собой некоторые химические свойства.

На Рис. 2 в полулогарифмическом масштабе экспериментальные значения $K_{(1)}/K_{(2)}$ пород Венеры, Земли, Марса и хондритов отложены в зависимости от R_i^2 . При этом элементы $Z_{(1)}$ и $Z_{(2)}$ имеют $N_{o(1)} > N_{o(2)}$, соответственно (см. Табл.1).

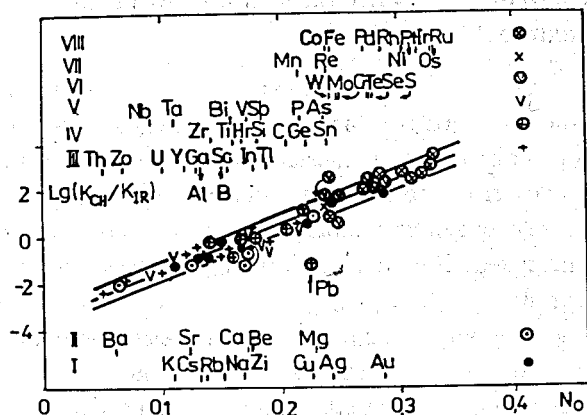


Рис. 1. Зависимость (7): $\ln(K_{CH}/K_{IR})$ от N_0 представлена в десятичных логарифмах. Слева указаны номера групп Периодической системы, к которым принадлежат элементы размещенные в строчку в соответствии с их N_0 , а справа - знаки, с помощью которых на рисунке отмечены их экспериментальные данные.

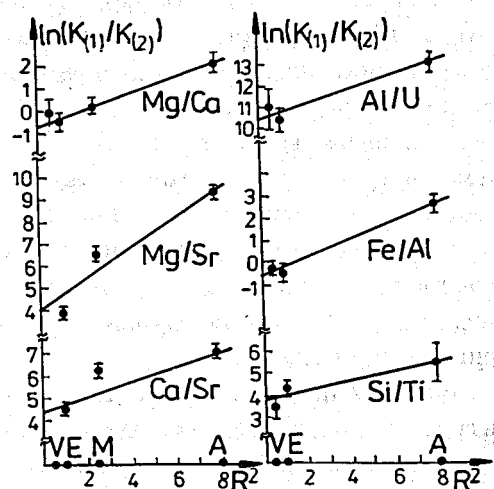


Рис. 2. Зависимость $\ln K_{(1)}/K_{(2)}$ от R_i для веществ Венеры-V, Земли-E, Марса-M и хондритов-A, по данным [3].

Таблица 3

Параметры прямой (8), l и $N_{o(1)}/N_{o(2)}$

Z_1/Z_2	A	B	l	$N_{o(1)}/N_{o(2)}$ см. табл. 1	$l/(N_{o(1)}/N_{o(2)})$
Mg/Ca	-0,60	0,34	1,42	1,33	1,07
Mg/Sr	4,00	0,70	2,00	1,77	1,13
Ca/Sr	4,35	0,35	1,42	1,29	1,10
Al/U	10,45	0,37	1,44	1,33	1,08
Fe/Al	-0,65	0,43	1,51	1,82	0,85*
Si/Ti	3,95	0,28	1,24	1,12	1,11

* причина низкого значения, очевидно, может заключаться в том, что в данном случае не учтена разница магнитных свойств Fe и Al.

Таблица 4

Значения $l = N_{o(1)}/N_{o(2)}$ и отношение концентраций элементов Z_1 и Z_2 в разных материалах: IR - изверженные породы Земли, Sh - метеорите Shergotty [15], M - породы, отобранные на Марсе [12], CH - каменные хондриты [16], ТТМ и СФТМ - торф [17] и силикатные сферулы [18], отобранные на месте падения ТМ.

NN n/n	Z_1/Z_2	l	IR	Sh (M)	CH	ТТМ (СФТМ)
1.	Mn/Sc	1.32	43		$3 \cdot 10^2$	$(7 \cdot 10^3)$
2.	Mg/Ca	1.33	0.6	0.9 (1.3)	10	
3.	Na/K	1.38	1	5	8	
4.	Ca/Sr	1.52	91	170 (530)	10^3	
5.	Mn/Cs	1.66	10^3		$2 \cdot 10^4$	(10^4)
6.	Ag/Rb	1.77	$8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	
7.	Al/Eu	1.77	$7 \cdot 10^4$		$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^6$
8.	Ag/Cs	1.85	$7 \cdot 10^{-2}$		1	(4)
9.	Mg/Sr	2.03	62	$2 \cdot 10^3$ ($7 \cdot 10^2$)	$3 \cdot 10^5$	
10.	Fe/U	2.43	$2 \cdot 10^4$	10^6	$2 \cdot 10^7$	$\geq 7 \cdot 10^{6*}$
11.	Au/K	2.62	$2 \cdot 10^{-7}$	$\leq 4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}
12.	Ir/K	2.76	$5 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-4}$	
13.	Be/Ba	2.84	$7 \cdot 10^{-3}$		0.2	0.1
14.	Hg/Cs	3.53	0.1		30	11
15.	Pb/Ba	3.69	$3 \cdot 10^{-2}$		0.1^{**}	0.4
16.	Mg/Ba	3.75	55	$3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	
17.	Zn/Ba	5.03	0.2	0.4	10^2	$2 \cdot 10^2$
18.	Hg/Ba	7.51	$2 \cdot 10^{-4}$		0.5	$2 \cdot 10^2$

* - по кольцам деревьев в месте падения ТМ (Перельгин В.П.).

** - в H, L хондритах.

Экспериментальные точки на Рис. 2 аппроксимированы к прямым:

$$\ln(K_{(1)}/K_{(2)}) = A + BR_i^2, \quad (8)$$

где A пропорциональны $\ln k$, где k - константы, возможно, обусловленные EA элементов и макропараметрами, например, определяющими центробежную составляющую скорости их атомов в протопланетном облаке, B - пропорциональны $\ln l$, где l - константы, вероятно отражающие разницу физико-химических свойств сравниваемых элементов, например, отношение: $N_{o(1)}/N_{o(2)}$.

В Табл. 3 представлены значения A, B, l и $N_{o(1)}/N_{o(2)}$, вычисленные по данным Табл. 1, и отношения $l/(N_{o(1)}/N_{o(2)})$. Из этих данных можно видеть, что значения l , полученные по данным элементных анализов пород космических тел с помощью Периодического Закона, и отношений $N_{o(1)}/N_{o(2)}$, вычисленных, исходя из физико-химических свойств элементов, согласуются между собой для рассмотренных пар элементов.

Кроме того, уравнение (8) приближенно описывает аналогичные данные для тел, формировавшихся на периферии Солнечной системы. Например, отношения $K_{(1)}/K_{(2)}$ для пары химических аналогов углерода ($N_o = 0,206$) и кремния ($N_o = 0,179$) в изверженных породах Земли, хондритах и в пыли кометы Галлея [9] равны: $7 \cdot 10^{-4}$, $2 \cdot 10^{-3}$ и 13, соответственно.

Следовательно, поставленную выше задачу о более строгом доказательстве существования процесса сепарации элементов в протопланетном облаке [1] можно считать решенной с достаточной степенью достоверности.

Таким образом, отношение концентраций двух элементов Z_1 и Z_2 в образцах пород разных планет (тел) Солнечной системы должно отличаться между собой, если отношение $N_{o(1)}/N_{o(2)} = l$ достаточно велико и химические свойства сравниваемых элементов в соответствующей мере сопоставимы. Это обстоятельство может быть полезным при определении принадлежности анализируемых материалов к тем или иным материнским телам Солнечной системы, имеющих разные R_i .

Например, из данных табл. 4 можно видеть, что по относительному элементному составу породы Марса и Shergotty занимают промежуточное положение между составами пород Земли и хондритов. В то же время составы ТТМ и СФТМ наиболее близки к соответствующим данным хондритов. В этой связи заметим, что изотопный состав Pb в

ТТМ близок к таковому у железных метеоритов группы II группы [19]. Эти факты, очевидно, можно объяснить тем, что Shergotty генетически связаны с Марсом, а ТМ - с хондритами (астероидами). Однако взрыв ТМ был возможен лишь в том случае, если, в отличие от хондритов, в его состав входили полиметаллы, несвязанные с кислородом (см. выше).

Заключение

1. Совокупность изложенных выше данных достаточна, чтобы процесс сепарации элементов в протопланетном облаке из разряда гипотезы перевести в разряд реально существующих физико-химических процессов.
2. Исходное вещество Земли (видимо, и планет земного типа) в результате этого процесса должно быть обеднено кислородом и другими элементами с высоким значением N_o .

Автор приносит свою благодарность чл.корр. РАН проф. Ю.Ц.Оганесяну и акад. РАН, проф. Б.Ф.Мясоедову за интерес к работе и д-рам В.П.Перельгину и С.Н.Дмитриеву за полезную дискуссию.

Литература

- [1] Ларин. В.Н. // Гипотеза изначально гидридной Земли, М.: Недра. 1980. С.215.
- [2] Чубурков Ю.Е. Препринт ОИЯИ P12-92-221. Дубна. 1992. С.30.
- [3] Chuburkov Yu.T. Communication of JINR. D12-90-123. Dubna. 1990.
- [4] Пуцадовский Ю.М., Новиков В.Л., Савельев А.А., Фадеев В.Е., Гетектоника. 1989. N.5. С.3-13.
- [5] Физические величины, справочник под ред. И.С.Григорьева И.С. и Мейлихова Е.З. М.: Энергоатомиздат. 1991. С.390.
- [6] Lewls R.S. et al., // Science 1975, 26 December. V.190. N.1221. P.1251-1262.

- [7] Hunter D.M., Pepin R.U., Owen T.C. // Planetary Atmospheres, in: Meteorites and the Early Solar System. Editors Kerridge J.F., The University of Arisona Press, Tucson, 1988.
- [8] Чубурков Ю.Т., Лебедев Л.М. // Радиохимия. 1974. Т.16. вып.4. С.524-529.
- [9] Чубурков Ю.Т., Зотов И.А. // Доклады АН СССР. 1985. Т.280. N.5. С.1234-1238.
- [10] Алексеев В.А., Алексеева Н.Г. Поступление аэрозолей в зонах тектонической активности, в: Регулярности и симметрии в строениях Земли. М.: РОСТ. 1997.
- [7] Регулярности и симметрия в строении Земли. М.: РОСТ. 1997.
- [11] Барсуков В.Л., Базилевский Л.Т. // Природа. 1986. N.6. С.24-35.
- [12] Toulmin B. et al. // J. Geophys. Res. 1977. V.187. P.859-866.
- [13] Geiss J. // Actron. Astrophys. 1987. V. 187. P.859-866.
- [14] Bowen H.S.M. // Trace Elements in Biochemistry. New York-London. Academic Press. 1966. P.241.
- [15] Meyer Ch. // Mars Meteorite. Compendium-1996. Hausten. Texas. 1996. P.175.
- [16] Войткевич Г.В. и др. // Краткий справочник по геохимии. М.: Недра. 1977. С.184.
- [17] Голеницкий С.П., Степанов В.В., Колесников Е.М., Мурашова Д.А. // Астрологический вестник. 1977. Т.XI. No.3. С.126.
- [18] Колесников Е.М., Луле Л.Ю., Иванова Г.М. // Астрологический вестник. 1977. Т.XI. No.2. С.120.
- [19] Колесников Е.М., Шестаков Г.Н. // Геохимия. 1979. No.8. С.1202.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 июня 1998 года.