

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

99-110

D12-99-110

Ю.Т. Чубурков

ПЛАНЕТАРНЫЕ ПРИЗНАКИ МАГНИТНОЙ  
СЕПАРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОТОПЛАНЕТНОМ  
ОБЛАКЕ\*

Направлено в журнал «Атомная энергия»

\*Доложено на Московской конференции, посвященной 90-летию падения Тунгусского космического тела, 22–24 июня 1998, ГАИШ, Москва

1999

## I. Введение

Результаты исследований по поиску сверхтяжелых элементов (СТЭ) в природе, проводимых по инициативе Г.Н.Флерова в ЛЯР ОИЯИ [1], показали, что необходимо более детальное изучение распределения химических элементов в природных объектах [2,3]. В этой связи вызвала интерес корреляция [4] между отношением распространенностей некоторых элементов в исходных веществах астероидов (средний радиус орбит,  $R_A \approx 2,7 \div 2,8$  астрономических единиц, а.е.),  $K_A$ , и Земли (средний радиус орбиты,  $R_E = 1$  а.е.),  $K_E$ , и значением их первых потенциалов ионизации,  $L_1$ . В качестве  $K_A$  были приняты концентрации элементов в хондритах,  $K_{CH}$ , а в качестве  $K_E$  - содержание элементов в гипотетическом веществе мантии Земли,  $K_{EM}$

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

Согласно уравнению (1) элементы вдоль радиуса Солнечной системы распределялись в зависимости от их первых потенциалов ионизации. В связи с этим предсказывались различия в элементных составах планет земного типа и дефицит кислорода в их мантиях, т.к. для него  $L_1$  имеет большое значение, равное 13,6 эВ.

Сказанное выше выходит за рамки так называемого хондритного постулата, согласно которому содержание элементов в исходном веществе планет равно их содержанию в хондритах. Например, общепринято, что для кислорода  $K_E$  и  $K_A$  составляют около 40 %.

В работах [5-7] обсуждены факты, подтверждающие предсказания, сделанные в работе [4].

С этой целью, кроме  $L_1$ , были утнены и другие физико-химические параметры атомов и молекул, влияющие на поведение элементов в Протопланетном облаке. Кроме того, проанализированы имеющиеся в литературе данные по элементным составам образцов пород Венеры, Земли, Марса, "марсианского" метеорита Shergotty, Луны и хондритов, а также материалов с места падения Тунгусского метеорита [7] в свете Периодического закона Д.И. Менделеева [5,6].

В ближайшем будущем с целью поиска СТЭ в природе могут быть использованы не только материалы Земли, но и планет земного типа и астероидов. Поэтому в настоящей работе уделено особое внимание распределению элементов между ними в соответствии с их (элементов) физико-химическими свойствами.

## 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 ионизирующими их фотонами Солнца и его магнитным полем. 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 образуют в этих условиях элементы, 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:

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

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 адендов, общее число которых в молекуле равно  $n$ ,

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

Относительные доли отрицательных и положительных ионов,  $J^-$  и  $J^+$ , можно найти, учитывая сродство к электрону,  $E_a$ , и потенциалы ионизации всех валентных электронов атомов данного  $i$ -ого элемента,  $Li$ , по уравнениям

$$J^- = E_a P$$

и

$$J^+ = (1 - E_a P)[(1 - L_1 P) + (1 - L_1 P)(1 - L_2 P) + \dots + (1 - L_1 P)(1 - L_2 P)(1 - L_3 P) \dots (1 - L_v P)], \quad (5)$$

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

Используя уравнения (3) - (5), получаем

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

Вычисленные значения долей  $N_0$  атомов всех элементов даны в [6]. Следует отметить, что оценочные значения  $N_0$  помимо погрешностей, связанных с погрешностями экспериментальных данных, используемых в расчетах, имеют какую-то долю неопределенности, в частности, связанную с выбором наиболее вероятного соединения элемента. По мере развития исследований в этой области возможно уточнение состава указанных выше соединений элементов (соответственно, и корректировка их значений  $N_0$ ). Кроме того, процесс сепарации элементов, очевидно, имеет более сложный механизм и, в принципе, зависит не только от  $N_0$ .

### III. Распределение химических элементов между Землей и хондритами в зависимости от $N_0$

#### а. Менее летучие элементы

Значения  $N_0$  в работе [6] использованы (вместо  $L_1$ ) для получения функциональной зависимости, аналогичной уравнению (1). С этой целью в качестве  $K_A$  и  $K_E$  были приняты концентрации элементов 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  $a = -3,54 \pm 0,15$ ,  $b = 19,4 \pm 0,71$  и  $\Delta y$  - среднеквадратичное отклонение величины  $\ln(K_{CH}/K_{IR})$ , не превышающее 0,36.

Исходя из данных рис.1, можно видеть, что процесс магнитной сепарации элементов был весьма эффективным.

Концентрация некоторых элементов в хондритах на несколько порядков величины отличается от таковой для Земли. В связи с этим

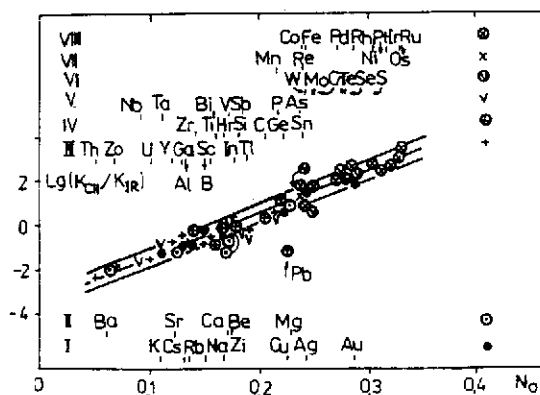


Рис. 1. Зависимость (7):  $\ln(K_{CH}/K_{IR})$  от  $N_0$  представлена в десятичных логарифмах. Слева указаны номера группы Периодической системы, к которым принадлежат элементы, размещенные в строчку в соответствии с их  $N_0$ , а справа - знаки, с помощью которых на рисунке отмечены их экспериментальные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

отметим, что дифференциация вещества в телах планет приводит к изменению их концентрации в пределах практически одного порядка величины и ни в какой мере не может зависеть от  $N_0$  элементов.

Например, отношения средних атомных концентраций Mg ( $N_0 = 0,229$ ) и Ca ( $N_0 = 0,172$ ) в континентальной и океанической оболочках земной коры [8], а также в диабазах, W-1 [9], и в основных породах по А.П.Виноградову равны: 0,79, 0,81, 0,84 и 1,1 соответственно. Поэтому можно надеяться, что упомянутые выше планетарные процессы не помешают обнаружить последствия магнитной сепарации элементов, произошедшей до аккреции вещества в Протопланетном облаке.

#### б. Более летучие элементы

Элементы, имеющие необъяснимо высокие значения  $\Delta y$ , при сравнении их данных с уравнением (7) - 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 при первом приближении для "нелетучих" элементов, нельзя. В данном случае надо хотя бы учесть коэффициенты возможного обогащения изверженных пород (литосферы) "летучими" элементами по сравнению с исходным веществом Земли. С этой целью можно оценить  $f$  с помощью уравнения  $(K_{CH}/K_E)_{(T)}/(K_{CH}/K_{IR}) = K_{IR}/K_E = f$ , здесь  $(K_{CH}/K_E)_{(T)}$  получено с помощью коэффициентов  $a$  и  $b$  уравнения (7), см. табл.1.

Из этих данных можно видеть, что у химически активных летучих элементов (условно с  $N_0 < 0,5$ ) значения  $f$  лежат в интервале 3÷60. Если учесть, кроме диффузии элементов, еще конвекцию в веществе мантии Земли [6,10] и относительно малый объем литосферы, то эти значения  $f$  в первом приближении можно принять в качестве реальных коэффициентов обогащения литосферы химически активными летучими элементами,  $f_{a.e.}$

Используя  $f_{a.e.}$ , можно приближенно оценить концентрацию  $K_E$  для таких летучих элементов в исходном веществе Земли, см. табл.1.

Однако химически инертные элементы, особенно газы Ne, Ar, Kr и Xe, имеющие  $N_0 > 0,7$ , для подобной оценки  $K_E$  требуют, согласно уравнению (7), очень высокого обогащения литосферы, в  $10^4 \div 10^6$  раз.

С целью определения более приемлемых значений коэффициентов обогащения литосферы инертными элементами,  $f_{i.e.}$  примем, что асте-

Таблица 1

Приближенные значения  $K_A$  и  $K_E$  (массовые %) для химически активных и инертных летучих элементов, оцененные с помощью уравнения (7), исходя из  $K_{IR}/K_{CH}$

Элементы	N	O <sup>+</sup>	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	$7 \cdot 10^{-3}$ *	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	$1 \cdot 10^{-1}$	0,2	0,5	$3 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-2}$
$\frac{(K_{CH}/K_E) \cdot 10^4}{K_{CH}/K_{IR}} = K_{IR}/K_E \approx f$	6,8	3	35	$1 \cdot 10^{6**}$	13	$4 \cdot 10^{6**}$	16	$7 \cdot 10^{2**}$	$1 \cdot 10^{6**}$	58	$2 \cdot 10^{4**}$	$1 \cdot 10^{4**}$	17
$(K_E = K_{IR}/f_{i.e.})/\% \times 10^4 ++$	3	$1,7 \cdot 10^5$	17	-	10	-	4	-	-	$3 \cdot 10^{-3}$	-	-	$5 \cdot 10^{-3}$
$\frac{K_A}{K_{CH}} = \frac{K_{IR}}{K_E} = \sqrt{f} =  f'_{i.e.}  = f_{i.e.}$	-	-	-	$> 1 \cdot 10^3$	-	$2 \cdot 10^3$	-	$\sim 27$	$> 1 \cdot 10^3$	-	$\sim 2 \cdot 10^2$	$> 1 \cdot 10^2$	-
$(K_A = K_{CH} \cdot f_{i.e.})/\% \times 10^4$	-	-	-	$> 6$	-	$> 1 \cdot 10^3$	-	$\sim 14$	$> 0,1$	-	$\sim 2$	$> 4 \cdot 10^{-2}$	-
$(K_E = K_{IR}/f_{i.e.})/\% \times 10^4$	-	-	-	$< 4 \cdot 10^{-6}$	-	$< 1,6 \cdot 10^{-3}$	-	$\sim 0,1$	$< 1 \cdot 10^{-7}$	-	$\sim 3 \cdot 10^{-3}$	$< 3 \cdot 10^{-7}$	-

+ для кислорода согласно [6]  $K_E$  лежит в интервале 11-25 %, видимо, для него и  $K_A < K_{CH}$ , см. текст о Тунгусском астероиде

\* - для инертных газов в качестве  $K_{CH}$  приняты их концентрации во фракции "Сигмент",  $K_A$ , кондрита Алленде, см. текст, погрешности определения  $K_A$ , не превышающие 20 %, даны в работе [11].

\*\* anomalously высокие значения  $f$ , объяснение которых не представляется возможным без дополнительных допущений, см. текст.  
++  $f_{i.e.} = f$ .

роиды - это фрагменты гипотетической планеты, существовавшей до катастрофы на орбите со средним радиусом  $R_A \approx 2,7 \div 2,8$  а.е.

В связи с этим отметим, что в железных метеоритах отсутствуют мантийные элементы [6]: Na, Mg, Al, Si, K, Ca. Процесс сепарации тяжелых элементов типа Fe, у которых плотность больше, чем у их оксидов, от легких мантийных элементов мог произойти лишь в массивном теле, в недрах которого может быть высокая температура, дефицит кислорода и присутствие  $H_2$ .

Астероиды при своем образовании из горячей мантии материнской гипотетической планеты должны были в какой-то мере потерять газообразные элементы. Например, концентрация Ne, Ar, Kr и Xe в целом в метеорите Allende [11] ниже, чем в тугоплавкой фракции этого метеорита Chonite,  $K_{ch}$ . Отсюда можно видеть, что для инертных газов  $K_A > K_{CH}$ , и тогда  $(K_A/K_E)_{(7)}/(K_{CH}/K_{IR})$  не может быть равно  $K_{IR}/K_E$ .

Следовательно, у инертных газов коэффициенты обогащения  $f_{i.e.} = K_{IR}/K_E$  сопряжены 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  $\sqrt{10^4} \div \sqrt{10^6}$ . А  $f_{i.e.}$ , равные  $10^2 \div 10^3$ , становятся уже более приемлемыми в качестве первых приближений к их истинным значениям. Поэтому,  $f_{i.e.}$  (и  $f'_{i.e.}$  как сопряженную с ней величину), видимо, можно использовать для приближенных оценок  $K_E(K_A)$  в рамках данного допущения, см. табл.1.

#### IV. Распределение химических элементов между планетами Солнечной системы

Из-за магнитной сепарации элементов [4], содержащихся в Протопланетном облаке, их относительная распространенность в планетах должна отличаться от солнечной в разной мере. В работах [6,7] было показано, что для двух сравниваемых элементов с  $Z_1$  и  $Z_2$ , имеющих  $N_{0(1)} > N_{0(2)}$ , отношение их концентраций,  $K_1/K_2$ , возрастает в веществе сравниваемых планет с увеличением среднего радиуса,  $R_i$ , их орбит по уравнению

$$\ln(K_1/K_2) = A + BR_i^2, \quad (8)$$

где A и B - константы, константа B пропорциональна натуральному логарифму значений  $l = N_{0(1)}/N_{0(2)}$ .

Как и уравнение (7), уравнение (8) не может описывать результаты процессов планетарной дифференциации вещества, например зонной

плавки пород по А.П.Виноградову. Очевидно, что результаты этих процессов в той или иной мере могут "затушевывать" результаты магнитной сепарации элементов, т.е. делать их менее ярко выраженными, особенно для тех элементов, у которых недостаточно велико значение  $l$ . Например, отношение атомных концентраций Ne ( $N_0 = 0,911$ ) и Kr ( $N_0 = 0,877$ ) в Земле,  $(K_{Ne}/K_{Kr})_E$ , и в гипотетической планете,  $(K_{Ne}/K_{Kr})_A$ , по данным табл.1 равны 168 и 252 соответственно. Эти отношения описываются уравнением (8).

В работе [12] концентрации инертных газов в исходном веществе планеты определяли как их содержание в атмосфере, деленное на массу планеты. Полученные по данным этой работы для Венеры, Земли и Марса  $K_{Ne}/K_{Kr}$ , равные 150, 14 и 6 соответственно, не описываются уравнением (8). Из этих данных можно видеть, что способ определения концентраций инертных газов в исходных веществах планет через их содержание в атмосферах этих планет не дает адекватных результатов. По данным этой же работы  $K_{Ne}/K_{Kr}$  для хондритов равно около 19. Данные, полученные для наиболее холодного Марса и хондритов, лучше удовлетворяют уравнению (8). Данные, полученные для Венеры и Земли, в большей мере, видимо, обусловлены их относительно более высокой температурой, от которой зависит дегазация их вещества.

В табл.2 представлены значения  $K_1/K_2$  пар элементов для пород Земли, Марса и хондритов. Можно видеть, что практически все значения  $K_1/K_2$  описываются уравнением (8). Интересно отметить, что данные, полученные для "марсианского" метеорита Shergotty и Луны, близки к таковым для Марса. По крайней мере, их значения  $K_1/K_2$  также лежат между значениями  $K_1/K_2$  соответствующих элементов, известных для пород Земли и хондритов.

Имея достаточно большое множество согласованных между собой данных, целесообразно хотя бы приближенно определить  $R_i$ , на котором согласно с уравнением (8) могла произойти аккреция вещества Марса, Shergotty и Луны по сравнению с Землей и хондритами. Оценка показывает, что для Марса, Shergotty и Луны  $R_i$  близки между собой и лежат в диапазоне  $1,6 \div 2,2$  а.е. Можно показать, что результаты оценки не зависят от констант А и В уравнения (8), т.к. они исключены при решении системы уравнений.

В работе [6] уже проводилась оценка радиуса первоначальной орбиты Луны,  $R_{Lu}$ , или ее материнского тела. С этой целью сравнивали относительные концентрации La, Cl, Pt и Nd, продуктов спонтанного деления  $^{238}U$  и других тяжелых ядер, распределенных между

ТАБЛИЦА 2

Отношение концентрации элементов  $Z_1$  и  $Z_2$ , для которых  $N_{0(1)}/N_0 = l > 1$ , в диабазах, W-1 [9], гранитах, G-1 [9], и горных породах, M<sub>0</sub> [9], Земли, образцах пород Марса, Mr\*, в "марсианском" метеорите Shergotty, Sh [19], в лунных породах, Lu\*\*, и в хондритах, CH [20]

$Z_1/Z_2$	W-1 G-1 M <sub>0</sub>	Mr Sh Lu	CH	$l$
1	2	3	4	5
Mg/Ca	0,84 0,49 0,96	2,2 1,4 1,3	17	1,33
Mg/Sr	$8,4 \cdot 10^2$ $1,2 \cdot 10^2$ $1,7 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$ $5,3 \cdot 10^3$ $1,2 \cdot 10^3$	$5,1 \cdot 10^4$	1,72
Ca/Sr	$9,9 \cdot 10^2$ $2,3 \cdot 10^2$ $1,8 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^3$ $3,9 \cdot 10^3$ $8,8 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^4$	1,29
Na/K	4,8 1,3 1,9	- 9,4 3,7	14	1,38
Ni/Na	$5,3 \cdot 10^{-3}$ $6,6 \cdot 10^{-5}$ $1,1 \cdot 10^{-3}$	- $7,6 \cdot 10^{-3}$ $6,10 \cdot 10^{-2}$	1,1	2,07
Ni/K	$1,5 \cdot 10^{-2}$ $8,5 \cdot 10^{-5}$ $2,0 \cdot 10^{-3}$	- $2,8 \cdot 10^{-2}$ $9,6 \cdot 10^{-2}$	10,5	2,84
Ni/Rb	5,3 $3,3 \cdot 10^{-2}$ 0,97	- 18 62	$3,9 \cdot 10^3$	2,28
Ni/Cs	$1,6 \cdot 10^2$ $2,7 \cdot 10^2$ $2,2 \cdot 10^2$	- $3,7 \cdot 10^2$ $2,7 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^5$	2,39

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Ni/Cu	0,73	-	$1,5 \cdot 10^2$	1,38
	0,49	3,1		
	1,9	9,5		
Ni/Sr	0,68	-	$2,0 \cdot 10^3$	2,74
	$6,0 \cdot 10^{-2}$	2,8		
	0,27	1,6		
Ni/Ba	0,83	-	$5,2 \cdot 10^3$	5,08
	0,16	5,9		
	$3,1 \cdot 10^{-2}$	1,7		
Ni/Al	$4,4 \cdot 10^{-4}$	-	28	2,33
	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$		
	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$		
Ni/Ga	59	-	$5,3 \cdot 10^3$	1,94
	0,26	5,7		
	6,2	51		
Ni/In	$2,4 \cdot 10^3$	-	$2,6 \cdot 10^7$	1,74
	34	$5,3 \cdot 10^3$		
	$1,6 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$		
Ni/Tl	$1,6,4 \cdot 10^3$	-	$4,7 \cdot 10^7$	1,65
	68	$2,1 \cdot 10^4$		
	$2,2 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^5$		
Ni/La +	6,3	-	$1,1 \cdot 10^5$	4,13
	0,19	86		
	10	30		
Ni/Th	$1,3 \cdot 10^2$	-	$1,3 \cdot 10^6$	6,20
	1,0	$7,0 \cdot 10^2$		
	32	$2,0 \cdot 10^2$		
Ni/U	$6,2 \cdot 10^2$	-	$3,6 \cdot 10^6$	3,10
	6,1	$2,4 \cdot 10^3$		
	$1,6 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^2$		
Ni/C	-	-	6,9	1,51
	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$		
	$5,1 \cdot 10^{-2}$	0,33		

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Ni/Si	$1,6 \cdot 10^{-4}$	-	$3,9 \cdot 10^{-2}$	1,73
	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$		
	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$		
Ni/Ge	62	-	$1,7 \cdot 10^3$	1,40
	4,3	$1,3 \cdot 10^2$		
	50	$3,1 \cdot 10^2$		
Ni/Sn	58	-	$2,7 \cdot 10^4$	1,29
	3,0	-		
	26	$2,2 \cdot 10^2$		
Ni/Pb	28	-	$2,4 \cdot 10^5$	1,38
	0,83	-		
	19	$8,8 \cdot 10^2$		
Ni/P	$7,4 \cdot 10^{-3}$	-	14	1,43
	$3,9 \cdot 10^{-3}$	0,10		
	$3,6 \cdot 10^{-2}$	0,21		
Ni/As	57	-	$5,7 \cdot 10^4$	1,31
	3,8	$\leq 31$		
	51	$1,1 \cdot 10^3$		
Ni/Sb	$1,4 \cdot 10^2$	-	$2,8 \cdot 10^5$	1,61
	47	$1,4 \cdot 10^4$		
	$8,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$		
Ni/Bi	-	-	$1,6 \cdot 10^7$	1,96
	$1,6 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^5$		
	$1,4 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^5$		

\* -  $K_1/K_2$  взято из [5].\*\* -  $K_1/K_2$  по данным Apollo-11 и 12, Луна-16 [20].+ -  $K_1/K_2$  для других РЗЭ также описываются уравнением (8).

Землей, Луной и хондритами. Было найдено, что  $R_{Li}$  лежит в интервале  $(1,4 \div 2,5)$  а.е.

Пока ответить на вопрос: является ли Shergotty осколком поверхностных пород Марса или Луны или все три тела имели общую материнскую субстанцию? — не представляется возможным. Однако число и размеры метеоритов, найденных в будущем и имеющих такой состав, могут помочь ответить на этот вопрос. А пока очевидно, что Луна и Shergotty по своим относительным элементным составам отличаются от Земли и астероидов.

## V. Дефицит кислорода в мантиях планет земного типа как следствие магнитной сепарации элементов

### а. В мантии Земли

Отметим, что кислород и водород как химически активные элементы в отличие от инертных газов (например, Ne, имеющего в солнечной атмосфере распространенность, равную кислородной) все же в большей степени могут удержаться в составах внутренних планет, чем они (инертные газы). Наиболее распространенные активные элементы могут быть связаны в химические соединения лишь частично в соответствии с относительной распространенностью всех менее распространенных элементов.

Кислород — это макрокомпонент в веществе планет (один из восьми: Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, O) и сильный окислитель. За его судьбой можно следить наиболее эффективно. Из данных табл.1 можно видеть, что для кислорода  $K_E \approx 17\%$  (массовых).

Согласно уравнению (7) концентрации кислорода в Венере,  $K_V$ , Земле,  $K_E$ , Марсе,  $K_{M_T}$ , и астероидах,  $K_A$ , должны выстраиваться в ряд  $K_V < K_E < K_{M_T} < K_A$ .

В работе [4] сделано предположение, что из-за дефицита кислорода в мантии Земли наряду с обычными силикатами имеется вещество, состоящее из полиметаллов (силицидов).

С этой точки зрения результаты работ по сейсмотомографии и геодинамическим аномалиям были объяснены [6] тем, что в мантии наряду с твердыми и тяжелыми силикатами присутствует сравнимая по массе материя, состоящая из "легких" легкоплавких металлов, указанных выше.

Эти мантийные металлы имеют летучие формы и поэтому должны обогащать глубинные флюиды и с ними поступать в верхнюю часть

мантии и по разломам литосферы к поверхности Земли.

Очевидно, что в отсутствие окислителей ( $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $HCl$  и др.) мантийные металлы могут накапливаться до поры до времени. Этому также способствуют энергетические барьеры по отношению к реакциям их окисления.

В конечном итоге в условиях, позволяющих бурное окисление таких запасов металлов, возможно их возгорание. При горении макрометаллов выделяется около  $10^4$  Дж·г<sup>-1</sup>.

Горение металла может протекать спокойно с некоторым саморазогревом, если среда достаточно хорошо отводит тепло (на плавление силикатов расходуется  $\sim 10^3$  Дж·г<sup>-1</sup>). В противном случае горение металла может привести к взрыву. Критические условия перехода спокойного протекания экзотермической реакции в режим взрыва впервые математически описал Н.Н.Семенов еще в 1928 г.

Горением (окислением) металлов можно объяснить многие явления, необъяснимые до сих пор. В работе [6] упоминаются некоторые из них: магмообразование, субдукция, спрединг, землетрясения на разных глубинах, вплоть до 680 км, вулканизм двух видов: эффузивный и эруптивный (типа Кракатау и др.). Также показано, что скорости протекания процессов, предвестников землетрясений, не изменяются после толчка землетрясения. В данной работе не ставится целью описание сейсмических явлений. Эти явления связываются с проявлением дефицита кислорода в мантии Земли.

### б. В веществе некоторых астероидов - фрагментов гипотетической материнской планеты

Если в поясе астероидов есть также, в состав которых входят Na, Mg, Al, Si, K и Ca, не связанные с кислородом, то можно наблюдать разные эффекты при их падении на Луну и на Землю.

На Луне отсутствует атмосфера и нет избытка  $O_2$  и  $H_2O$ , видимо, и других окислителей. Поэтому окисление металлов на поверхности Луны должно проходить постепенно, напоминая эффузивную вулканическую деятельность. Нельзя исключить, что Н.А.Козырев мог наблюдать именно такой процесс [13].

Падая на Землю, такие тела могут сгореть не долетая до ее поверхности, например, как метеоры [5].

Более крупные астероиды такого типа могут представлять большую опасность для обитателей Земли. Тело при торможении в атмосфере



Земли сильно разогревается и химически активные металлы должны вступать в химическую реакцию с  $O_2$  и  $H_2O$ , находящимися в воздухе. Практически в избытке окислителей должно происходить горение металлов. При большой теплопроводности металлов, температура может увеличиваться не только на поверхности, но и в объеме тела. Реакция горения, очевидно, может идти и внутри тела, что должно привести к дроблению тела и его частей. Ближе к поверхности возрастает объемная концентрация  $O_2$  и  $H_2O$  и могут создаваться условия для взрыва фрагментов горящего тела.

Очевидцы Тунгусского события наблюдали цвета спектральных линий щелочных и щелочно-земельных металлов. Был слышен оглушающий звук. Известно, что в ионизованном газе сила звука сильно возрастает [14], а мантийные металлы имеют низкие потенциалы ионизации. Утверждают, что горела вода и гибло все живое, даже обгорала кора деревьев. Эти металлы горят в воде, и даже их оксиды опасны для всего живого. Ни одна гипотеза о происхождении Тунгусского феномена не может объяснить длительное свечение ночного неба почти над всем континентом в 1908 г. и позже. Однако сгорание металлов в атмосфере (стратосфере) приводит к появлению мелкодисперсных частиц белых оксидов, которые и будут рассеивать солнечный свет.

Тунгусское тело, по относительному элементному составу материалов с места его падения, было отнесено к "пришельцам" из пояса астероидов [7].

В свете сказанного выше торф [15] и силикатные сферулы [16] с места падения Тунгусского астероида (ТА) должны быть обогащены легкими мантийными макроэлементами: Na, Mg, Al, Si, K и Ca. Из микроэлементов I и II групп лишь Be имеет соизмеримые концентрации в Земле и астероидах, поэтому Be также может обогатить земные объекты, если он в избытке входил в состав ТА, как и макроэлементы.

Из данных табл.3 можно видеть, что торф и силикатные сферулы действительно обогащены указанными выше элементами. В торфе найдено обогащение наиболее растворимыми элементами. А силикатные сферулы, которые, видимо, являются остатками вещества ТА, обогащены также и менее растворимыми Al и Si. Судя по данным табл.3, вещество ТА содержало также некоторые тяжелые (по отношению к силикатам) элементы, имеющие относительно низкокипящие формы: Mn, Ag, Zn и Hg, см. табл.3. Однако в торфе отсутствует избыток тяжелых элементов: Ga, Cu, Ni, Sn, Sb и Au, хотя эти тяжелые элементы имеют относительно высокую концентрацию в метеоритах.

ТАБЛИЦА 3

Отношение концентрации элементов  $Z_i$  и Fe,  $K_{Z_i}/K_{Fe}$ , в торфе [15] и силикатных сферулах [16] из слоя 1908 г. с места падения ТА по сравнению с фоновыми материалами

$Z_i$	Торф		Силикатные сферулы	
	ТА	Фон	ТА	Фон(трапшы)
1	2	3	4	5
Na	0,25	0,13*	$\geq 4^+$	0,12*+
	8,0	0,12*	5,4+	0,18*+
		0,17*	0,3+	
Mg	-	-	-	0,35
		-	0,18	0,42
		0,13	1,3	
Al	0,3	1,9	$\geq 23$	-
		0,6	2,0	0,85
		1,9	2,1	
Si	0,4	3,2	-	-
		1,7	20	2,4
		8,6	6,8	
K	0,7	0,3	0,9	$7 \cdot 10^{-2}$
		$7 \cdot 10^{-2}$		$8 \cdot 10^{-2}$
		0,4		
Ca	> 1,3	-		
		-		
		0,36		
Be	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$		
		$3,6 \cdot 10^{-5}$		
		$1,6 \cdot 10^{-4}$		
Rb	$8 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$		
		-		
		$2,6 \cdot 10^{-3}$		
Sr	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$		
		$3,0 \cdot 10^{-2}$		
		$7,9 \cdot 10^{-3}$		

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
Cs	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$ $3 \cdot 10^{-5}$ $1,6 \cdot 10^{-4}$		
Ba	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$ $2 \cdot 10^{-3}$ -		
Mn	-	-	0,6 $6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$ $2 \cdot 10^{-2}$
Zn	2,5	0,25 $4 \cdot 10^{-3}$ $1,3 \cdot 10^{-3}$	0,1	
Hg	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-6}$ $2,7 \cdot 10^{-7}$ $7,9 \cdot 10^{-7}$		
Se	$8 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$> 9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Cr	$1 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$		
Ti	0,3	0,5		
PЗЭ <sup>++</sup>	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$> 7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$
Ga	$6 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$		
Cu	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$		
Ni	$3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$		
Sn	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$		
Sb	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$		
Au	$4 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$		
Ag			$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$

\* - фоновый состав торфа [15], местная территориальная пыль [15] и почвы [9] соответственно.

+ - по данным [16,21,22] соответственно.

\*\* - по данным [16,23] соответственно.

++ - даны лишь результаты определения концентрации La в торфах и Eu в силикатных сферах. Очевидно, что и другие РЗЭ ведут себя также.

Разделение легких и тяжелых элементов, как уже говорилось выше, могло произойти лишь в массивном теле планеты при дефиците кислорода в ее мантии.

Приведенные выше факты убедительно свидетельствуют о присутствии в мантии планет земного типа помимо силикатного еще полиметаллического вещества, не связанного с кислородом. Другими словами, старая силикатная модель Земли и опирающиеся на нее рассуждения нуждаются в пересмотре, при котором будут учтены результаты магнитной сепарации элементов в Солнечной системе.

Новый подход к элементным составам планет может быть полезным при решении, как прикладных (предсказания землетрясений, захоронение тяжелых радиоактивных металлов в недрах мантии и ядра и др.), так и фундаментальных (поиск СТЭ и др.) задач.

Учитывая, что проблема поиска СТЭ в природе стимулировала настоящие исследования, можно отметить, что результаты последних в свою очередь указали на связь между распределением в Солнечной системе элементов с их физико-химическими свойствами. Такой новый подход к распределению элементов, в том числе и СТЭ, может быть востребован. В свое время для спонтанно-делящегося нуклида [1] было определено химическое поведение, указывающее на его принадлежность к эка-золоту или эка-ртути [17,18], поэтому его некоторые физико-химические свойства могут быть предсказаны.

## Выводы

1. Показано, что распределение элементов вдоль радиуса Солнечной системы зависит от их физико-химических свойств.
2. Определена концентрация кислорода в исходном веществе Земли, которая составляет около 17% (массовых).
3. Оценены средние радиусы орбит, на которых, возможно, произошла аккреция вещества Марса, "марсианского" метеорита Shergotty и Луны.
4. Показано, что вещество Тунгусского астероида обеднено кислородом и в основном состояло из легких элементов: Na, Mg, Al, Si, K и Ca.

В заключение автор искренне благодарит за интерес к работе чл.-корр. РАН проф. Ю.П.Оганесяна, академика РАН проф. Б.Ф.Мясосдова, проф. В.П.Перелыгина и д-ра С.Н.Дмитриева.

## Литература

- [1] Flerov G.N., Korotkin Yu.S., Ter-Akopian G.M., Zvara I., Oganessian Yu.Ts., Popeko A.G., Chuburkov Yu.T., Chelnokov L.P., Maslov O.D., Smirnov V.I., and Gerstenberger R. Results of the Searches for Super-heavy Nuclei in the Cheleken Peninsula Geothermal Waters. // *Z. Physik*. 1979. A 292. P.43.
- [2] Чубурков Ю.Т., Лебедев Л.М. Гидротермы и сверхтяжелые элементы. // *Радиохимия*. 1974. 16. 6. С.52.
- [3] Чубурков Ю.Т., Зотов И.А. К вопросу о происхождении элементного состава океанической воды. // *ДАН СССР*. 1985. Т.280. No 5. С.1234.
- [4] Ларин. В.Н. Гипотеза изначально гидридной Земли. М.: Недра. 1980. С.215.
- [5] Chuburkov Yu.T. Element Separation before Matter Accretion of Solar System Planets in the Light of the Periodic Law. Communication of JINR. D12-90-123. Dubna. 1990.
- [6] Чубурков Ю.Т. Распределение элементов в Протопланетном облаке в зависимости от физико-химических свойств и следствия этого явления. Препринт ОИЯИ P12-92-221. Дубна. 1992. С.30.
- [7] Chuburkov Yu.T. Element Separation in Protoplanet Nebula and Element Composition of Venus, Earth, Mars, and Chondrites in the Light of the Mendeleev's Periodic Law. Preprint of the JINR. D12-98-180. Dubna. 1998. P.20.
- [8] Ярошевский А.А. Химический состав земной коры. // *Природа*. 1997. No 6. С.58.
- [9] Bowen H.S.M. Trace Elements in Biochemistry. New York-London. Academic Press. 1966. P.241.
- [10] Пушаровский Ю.М., Новиков В.Л., Савельев А.А., Фадеев В.Е. Новая модель геодезических процессов. // *Геотектоника*. 1989. No 5. С.3-13.
- [11] Lewis R.S., Srihivasan B., Anders E., Host Phase of a Strange Xenon Component in Allende. // *Science* 1975, 26 December. V.190. No 1221. P.1251-1262.
- [12] 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 Arizona Press, Tucson, 1988.
- [13] Базилевский А.Т. По следам деятельности М.А.Козырева. // *Природа*. 1997. No 4. С.107.
- [14] Галечан Г.А. Усиление звука в ионизованном газе. // *Природа*. 1996. No 7. С.74.
- [15] Голеницкий С.П., Степанов В.В., Колесников Е.М., Мурашова Д.А. К вопросу о химическом составе и природе Тунгусского космического тела. // *Астрономический вестник*. 1977. Т.ХI. No 3. С.126.
- [16] Колесников Е.М., Луле Л.Ю., Иванова Г.М. Признаки космической аномалии в районе Тунгусской катастрофы 1908 г.: II исследование химического состава силикатных микросферул. // *Астрономический вестник*. 1977. Т.ХI. No 2. С.120.
- [17] Чубурков Ю.Т., Звара И., Сокол Е.А., Ким Сон Чунг, Альперт, Л.К. Концентрируется ли в океанских конкрециях новый природный спонтанно-делящийся нуклид. // *Радиохимия*. 1983. No 4. С.520-526.
- [18] Чубурков Ю.Т., Попеко А.Г., Скобелев Н.К. Попытка концентрирования нового природного спонтанно-делящегося нуклида из геотермального рассола полуострова Челекен. // *Радиохимия*. 1988. No 1. С.112-121.
- [19] Meyer Ch. Mars Meteorite. Compendium-1996. Houston. Texas. 1996. P.175.
- [20] Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра. 1977. С.184.
- [21] Долгов Ю.А., Васильев Н.В., Шугурова Н.А., Лаврентьев Ю.Г., Гришин Ю.А., Львов Ю.А. Состав микросферул из торфов района падения Тунгусского метеорита. // *Метеоритика*. 1973. вып.32. С.147-149.
- [22] Glass. B.P. Silicate Spherules from Tunguska Impact Area. // *Science*. 1969. 164. No 3879. P.547-549.
- [23] Масайтис В.Л. Астроблемы на территории СССР. // *Сов. геология*. 1975. No 11. С.52-64.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 апреля 1999 года.