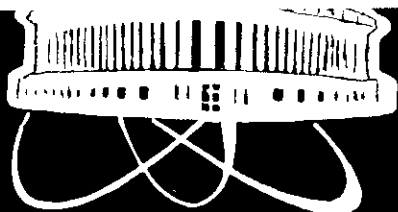


CERN LIBRARIES, GENEVA



SCAN-0010095



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3A

D12-99-110

Ю.Т.Чубурков

ПЛАНЕТАРНЫЕ ПРИЗНАКИ МАГНИТНОЙ  
СЕПАРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОТОПЛАНЕТНОМ  
ОБЛАКЕ\*

Направлено в журнал «Атомная энергия»

*Submitted to journal*

*Atomnaya Energiya*

*ed. Soviet Journal of Atomic Energy*

\*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 разница 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].

75050

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, 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:  $L_{\text{H}}, L_{\text{He}}$  и  $L_{\text{He}}^+$  атомов H, He и иона  $\text{He}^+$ . Суммарную вероятность релаксации соответствующих ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  и  $\text{He}^{2+}$  можно приравнять к единице, т.к. водород и гелий составляют основную массу Солнца:

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

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  $n$ ,

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

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

$$J^- = EaP$$

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), получаем

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

Вычисленные значения долей  $N_o$  атомов всех элементов даны в [6]. Следует отметить, что оценочные значения  $N_o$  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  $N_o$ ). Кроме того, процесс сепарации элементов, очевидно, имеет более сложный механизм и, в принципе, зависит не только от  $N_o$ .

### 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

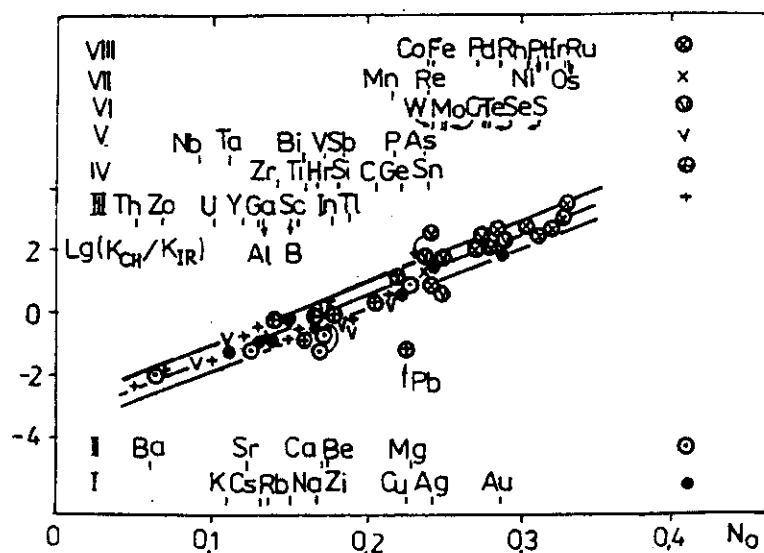


Рис. 1. Зависимость (7):  $\ln(K_{CH}/K_{IR})$  от  $N_0$  представлена в десятичных логарифмах. Слева указаны номера групп Периодической системы, к которым принадлежат элементы, размещенные в строчку в соответствии с их  $N_0$ , а справа - знаки, с помощью которых на рисунке отмечены их экспериментальные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

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  $(K_{CH}/K_E)_{(7)}/(K_{CH}/K_{IR}) = K_{IR}/K_E = f$ , здесь  $(K_{CH}/K_E)_{(7)}$  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  $3 \div 60$ . 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	$7 \cdot 10^{-5}$ *	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	$3 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-2}$
$\frac{(K_{CH} \cdot K_E)(Cl)}{K_{CH} \cdot K_{IR}} = K_{IR}/K_E \approx f$	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
$(K_E = K_{IR}/f_{a.e.})/\% \times 10^4$ ++	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 "Chromite",  $K_{ch}$ , хондрита Алленде, см. текст. погрешности определения  $K_{ch}$ , не превышающие 20 %, даны в работе [11].

\*\* - аномально высокие значения  $f$ , объяснение которых не представляется возможным без дополнительных допущений, см. текст.

++ -  $f_{a.e.} = f$ .

роиды - это фрагменты гипотетической планеты, существовавшей до катастрофы на орбите со средним радиусом  $R_A \simeq 2,7 \div 2,8$  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 Chomite,  $K_{ch}$ . 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 приводилась оценка радиуса первоначальной орбиты Луны,  $R_{Lu}$ , или ее материнского тела. С этой целью сравнивали относительные концентрации La, Cl, Pг и Nd, продуктов спонтанного деления  $^{238}\text{U}$  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  $R_{Lu}$  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  $K_E \simeq 17\%$  (массовых).

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

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 ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$  и др.) мантйные 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.

<sup>22</sup> 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 такие, 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  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , 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 создаться 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 сферах [16] из слоя 1908 г. с места падения ТА по сравнению с фоновыми материалами

$Z_i$	Торф		Силикатные сферы	
	ТА	Фон	ТА	Фон(траппы)
1	2	3	4	5
Na	0,25	0,13*	$\geq 4^+$	0,12**
	8,0	0,12*	5,4 <sup>+</sup>	0,18**
		0,17*	0,3 <sup>+</sup>	
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	-	- - $2,2 \cdot 10^{-2}$	0,6 $6 \cdot 10^{-3}$ 0,1	$2 \cdot 10^{-2}$ $2 \cdot 10^{-2}$
Zn	2,5	0,25 $4 \cdot 10^{-3}$ $1,3 \cdot 10^{-3}$		
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 сферулах. 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.Ц.Оганесяна, академика РАН проф. Б.Ф.Мясоедова, 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] Lewls 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 Arisona 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.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Чубурков Ю.Т.

D12-99-110

Планетарные признаки магнитной сепарации элементов  
в Протопланетном облаке

Показано, что распределение элементов вдоль радиуса Солнечной системы зависит от их физико-химических свойств. Определена концентрация кислорода в исходном веществе Земли, которая составляет около 17% (массовых). Оценены средние радиусы орбит, на которых произошла аккреция вещества Марса, «марсианского» метеорита Shergotty и Луны. А также показано, что вещество Тунгусского астероида обеднено кислородом и в основном состояло из легких элементов: Na, Mg, Al, Si, K и Ca. Полученные данные следует учитывать при создании новой модели Земли, которая необходима для успешного развития некоторых как прикладных, так и фундаментальных направлений науки.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Перевод автора

Chuburkov Yu.T.

D12-99-110

Planetary Evidences of Magnetic Element Separation  
in Protoplanet Nebula

It has been shown that element distribution along the radius of the Solar system depends on their physical and chemical properties. Oxygen concentration in the initial matter of the Earth has been determined to be about 17% of the mass. Average radii of orbits were determined, on which matter accretion of Mars, martian meteorite Shergotty, and Moon took place. It has been shown also that the matter of Tunguska asteroid is depleted in oxygen and is mainly composed from light elements: Na, Mg, Al, Si, K and Ca. The obtained data should be taken into account when creating a new model of Earth which is necessary for successful development of some applied and fundamental fields of science.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.