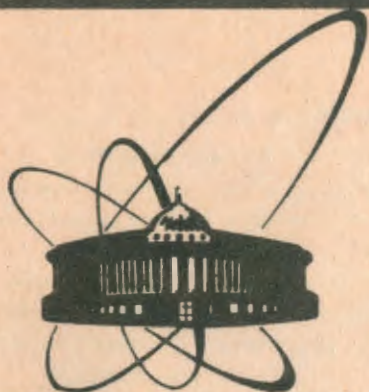


90-123



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

4 818

Д12-90-123

Ю. Т. Чубурков

СЕПАРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ  
ДО АККРЕЦИИ ВЕЩЕСТВА ПЛАНЕТ  
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ  
В СВЕТЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА

1990

## I. Сепарация элементов в протопланетном облаке

По мере эволюции Вселенной происходит ее обогащение тяжелыми элементами. Изучение этого процесса является весьма актуальным. Среди большого числа работ в этой области заметное место занимают работы, связанные с определением распространенности тяжелых нуклидов. Не ставя задачу полного обзора этих работ, остановимся на анализе некоторых из них в свете нового подхода к относительной распространенности элементов в различных объектах, основанного на Периодическом законе.

Распространенность элементов в галактических космических лучах (ГКЛ), солнечных энергичных частицах (СЭЧ) и в телах Солнечной системы, очевидно, в основном обусловлена процессами нуклеосинтеза и разделения элементов. Последние из-за своего многообразия остаются еще не до конца определены. Законы же нуклеосинтеза оказались более изучены. С их помощью удалось рассчитать распространенность элементов в Солнце и локальную галактическую распространенность <sup>1,2/</sup>. Эти значения близки к значениям, измеренным в солнечной атмосфере <sup>3/</sup>.

Однако попытки предсказать элементный состав, например, планеты Марса или нашего спутника Луны <sup>3/</sup>, как оказалось, были не столь удачны. Одной из причин этого было то, что не учитывался процесс сепарации элементов в протопланетном облаке, на возможность существования которого указывалось еще в работе <sup>4/</sup>. В работе <sup>5/</sup> было показано, что имеются новые экспериментальные факты, подтверждающие это предположение. Был найден новый подход к анализу данных по распространенности элементов в сравниваемых телах, позволивший снизить камуфлирующее влияние дифференциации вещества в самих планетах. С этой целью сравнивались не абсолютные значения концентраций элементов  $K$  в различных телах, а отношения  $K$  химических аналогов, которые по определению Д.И. Менделеева должны иметь меньшие, чем у других пар элементов, значения коэффициентов разделения в ходе природных физико-химических процессов.

Строго говоря, химические аналоги - это элементы, имеющие аналогичную структуру внешних электронных оболочек, т.к., как правило, это элементы, являющиеся членами одной подгруппы Периодической системы химических элементов. В более широком смысле к химическим аналогам могут быть отнесены элементы - члены одной группы и даже разных групп, но имеющих одинаковые устойчивые окислительно-восстановительные состояния, например:  $Al^{3+}$  -  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  -  $Fe^{2+}$ ,  $Mo^{3,4,6+}$  -  $U^{3,4,6+}$ . Однако при этом необходимо более строго учитывать условия, при которых протекали процессы дифференциации вещества.

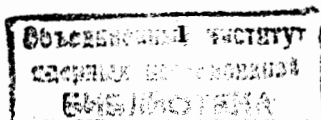


Таблица 1

Отношение концентраций  $K_1/K_2$  для некоторых пар элементов - химических аналогов  $Z_1$  и  $Z_2$  в поверхностных образцах пород Венеры, Земли, Марса и метеоритах

R(a,e)	0,72	1,00	1,52	2,8
$Z_1/Z_2$	Венера/6/	Земля/3/*	Марс/7/	Метеориты/3/**
Mg/Ca	$1,0^{+0,5}$	$0,6^{+0,2}$	$1,3^{+0,2}$	$8,8^{+2,8}$
Mg/Sr		$50,2^{+8,1}$	$(6,7^{+1,6}) \cdot 10^2$	$(1,1^{+0,2}) \cdot 10^4$
Ca/Sr		$91,3^{+10,6}$	$(5,3^{+1,3}) \cdot 10^2$	$(1,2^{+0,3}) \cdot 10^3$
Al/U	$(7,9^{+4,9}) \cdot 10^4$	$(4^{+2}) \cdot 10^4$		$(6,3^{+3,3}) \cdot 10^5$
Fe/Al	$0,9^{+0,3}$	$0,7^{+0,2}$		$16,7^{+5,4}$
Si/Ti	$38,3^{+19,8}$	$72,5^{+11,0}$		$(2,8^{+3,8}) \cdot 10^2$

\* Среднее значение  $K_1/K_2$  для литосферы, горных пород, глин, песчаников и сланцев.

\*\* Средние значения для 3 классов метеоритов, см. табл. 3.

В табл. 1 для некоторых тел Солнечной системы приведены отношения концентраций  $K_1/K_2$  пар элементов - химических аналогов. Отсюда видно, что  $K_1/K_2$  для образцов Венеры, возможно, меньше или, по крайней мере, соизмеримо, а для образцов Марса, и тем более для метеоритов, значительно (на несколько порядков величины) превосходят  $K_1/K_2$  земных пород. Таким образом, обнаружена зависимость  $K_1/K_2 = f(R)$ , где  $R$  - среднее расстояние тела от Солнца. Этот факт согласуется с предположением о сепарации элементов еще до образования планет /4/. И действительно, под действием фотонного излучения протосолнца в протопланетном облаке могли протекать процессы ионизации, фотоиндуцированного магнетизма и дрейфа атомов, ионов, молекул и аэрозольных частиц /8-10/. При наличии магнитного поля сепарация элементов в основном должна была определяться долей ионизованных атомов каждого элемента. В первом приближении относительную долю заряженных атомов у разных элементов можно представить в виде:

$$J = N^+ + N^{2+} + \dots + N^{i+}, \quad \text{где}$$

$$N^+ = N^0 \left[ \left(1 - \frac{\Pi_1}{O\Pi_H}\right) P_H + \left(1 - \frac{\Pi_1}{O\Pi_{He}}\right) P_{He} + \left(1 - \frac{\Pi_1}{O\Pi_{He^+}}\right) P_{He^+} \right], \quad \text{где}$$

$$N^0 = \left(1 - \frac{CЭ}{O\Pi_H}\right) P_H + \left(1 - \frac{CЭ}{O\Pi_{He}}\right) P_{He} + \left(1 - \frac{CЭ}{O\Pi_{He^+}}\right) P_{He^+}, \quad \text{где}$$

CЭ - сродство к электрону.

$$N^{i+} = N^{(i-1)+} \left[ \left(1 - \frac{\Pi_i}{O\Pi_H}\right) P_H + \left(1 - \frac{\Pi_i}{O\Pi_{He}}\right) P_{He} + \left(1 - \frac{\Pi_i}{O\Pi_{He^+}}\right) P_{He^+} \right]$$

(члены, имеющие  $\Pi_i \geq O\Pi_i$ , приравниваются к нулю), где  $\Pi_i$  - потенциалы ионизации валентных электронов у элементов,  $O\Pi_i$  - потенциалы ионизации (оптические пределы) атомов H, He и иона  $He^+$ , а  $P_H$ ,  $P_{He}$  и  $P_{He^+}$  - вероятности испускания протосолнцем одного из фотонов с энергией, равной указанной  $O\Pi_i$ , имеющим энергию (эВ): 13,5985, 24,5876 и 54,4182 соответственно. Сумма этих вероятностей равна единице, а их значения равны: 0,8352, 0,0272 и 0,1376 соответственно. При их оценке принималось соотношение распространенностей водорода и гелия, равное 7,60:1,50 (близкое к солнечному).

В табл. 2 даны расчетные значения  $J$  для некоторых элементов. Следует подчеркнуть, что для всех представленных в табл. 1, 3 и 4 элементов - химических аналогов с порядковыми номерами  $Z_1$  и  $Z_2$  выполнено требование, чтобы  $J_2/J_1$  было больше единицы. Следовательно, рост  $K_1/K_2$  с увеличением  $R$  можно объяснить тем, что у элемента  $Z_1$  была выше 1- $J$ -доля нейтральных атомов, которые под действием света более свободно двигались в магнитном поле, чем у элемента  $Z_2$ . Дифференциация вещества в телах планет не могла бы привести к зависимости  $K_1/K_2 = f(R)$ .

В табл. 3 представлены  $K_1/K_2$  для гораздо большего числа пар элементов, распространенность которых определена в изверженных и гранитных породах Земли и трех классах метеоритов. Эти данные также показывают, что тела, более удаленные от Солнца, обогащены элементами с меньшим значением  $J$ . Имеются и другие экспериментальные результаты, подтверждающие сепарацию элементов. Известно /11/, например, что  $K_1/K_2$  у благородных газов He-Na, Ne-Ar, Ar-Kr и Kr-Xe в земной атмосфере приблизительно равно: 0,1; 0,5; 25 и 7,5, а в космических объектах - 1200, 28, 7600 и 17 соответственно.

Безусловно, если существует зависимость  $K_1/K_2 = f(R)$ , то должны быть и ее следствия, которые можно предсказать. Разумно предположить, что наименее дифференцированным веществом Солнечной системы должно быть вещество самого Солнца, т.к. в отличие от протопланетного облака протосолнце имело значительно более сильное гравитационное поле, затрудняющее протекание упомянутого процесса сепарации элементов. На примере Венеры видно, что она по отношению к Земле, возможно, обеднена элементами с малым  $J$ , см. табл. 1, но не так резко как Земля по отношению к внешним телам Солнечной системы. Состав Меркурия представляет еще больший интерес.

В табл. 3 и 5 даны  $K_1/K_2$  для солнечной атмосферы, Земли и метеоритов. Из этих данных видно, что хондриты (даже углистые) нельзя считать исходным веществом Солнечной системы, т.к. Солнце, имеющее

Таблица 2

Энергия образования простых веществ, оксидов E  
и доля ионизованных атомов химических элементов J

Эл-т	-E(эВ)	J	Эл-т	-E(эВ)	J	Эл-т	-E(эВ)	J
1	2	3	4	5	6	7	8	9
[H]	1,61	0,10	Zn	1,87	0,43	I*	1,39	0,28
Ne		0,08	Ga	1,21	0,65	Xe		0,23
C*	0,93	0,27	Ge*	0,78	0,50	Cs	1,2	0,78
[N]	2,15	0,12	As	1,33	0,38	Ba	3,02	0,90
O*	1,62	0,11	Se*	1,41	0,35	La	3,82	0,81
F*	4,28	0,09	Br*	1,93	0,20	Ce	3,84	0,85
Ne		0,09	Kr		0,13	Yb	3,84	0,73
Na*	1,52	0,66	Rb	1,26	0,76	Lu	3,96	0,75
Mg	3,17	0,56	Sr	3,15	0,81	Hf	3,91	0,58
Al	3,51	0,65	Y	3,72	0,73	Ta	3,10	0,52
Si*	1,63	0,46	Zr	3,84	0,61	W	2,04	0,52
P	2,35	0,33	Nb	2,18	0,57	Re	1,56	0,54
S*	1,87	0,31	Mo	1,96	0,56	Os	0,92	0,44
Cl*	2,32	0,13	Ru	0,82	0,52	Ir	0,71	0,10
Ar		0,12	Rh	0,54	0,52	Pt	0,46	0,40
K	1,35	0,74	Pd	0,66	0,47	Au*	0,32	0,37
Ca	3,58	0,74	Ag	0,23	0,51	Hg	0,58	0,36
Mn	2,09	0,58	Cd	1,44	0,46	Tl	0,72	0,64
Fe	1,47	0,54	In	1,51	0,67	Pb	1,24	0,54
Co	1,31	0,52	Sn	1,57	0,54	Bi	1,18	0,55
Ni	1,32	0,52	Sb	1,62	0,46	Th	3,25	0,77
Cu	0,68	0,50	Te*	1,09	0,40	U	2,91	0,61

\* Исходя из солнечной распространенности, для C и его аналогов Si и Ge взяты средние значения E оксидов и гидридов. Pb и Sn в газе устойчивых гидридов не образуют. MgS, MgSe<sup>/12/</sup>, MgTe<sup>/12/</sup>, MgCl, MgBr, MgI и Ca F - взяты как наиболее устойчивые соединения с наиболее распространенным металлом. У Mg на образование этих соединений может израсходоваться всего около 15% атомов. Для Ca взято среднее E фторидов и хлоридов, так как атомов F не хватает, чтобы связать весь Ca, Au(OH)<sub>3</sub><sup>/12/</sup>, т.к. оксиды Au в газе не известны.

значительно больше (чем у хондритов) значения K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> многих пар химических аналогов (например, H-Na, Na-Rb, C-Pb, Si-Sn и др.), не могло образоваться из одного и того же материала с хондритами. Эти данные (см. табл. 3,5) скорее согласуются с тем, что именно вещество Солн-

ца является наименее дифференцированным, а хондриты, как и Земля, образовались после сепарации элементов в протопланетном облаке.

Далее, если при этом элементы с малым J в заметной степени были удалены на периферию Солнечной системы, то, имея J ≈ 0,1, водород и кислород были в их числе. С другой стороны, исходная распространенность кислорода на три порядка ниже, чем водорода. Поэтому, при относительно низкой атомной концентрации водорода в Земле, кислорода должна быть настолько мало, что силикатный слой Земли не может занимать всю толщу мантии. Вероятно, по этой причине на глубине 400 км в мантии звуковые волны резко меняют свою скорость распространения. В работе <sup>/5/</sup> приведены и другие экспериментальные факты, подтверждающие это следствие, вытекающее из зависимости K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> = f(R).

Более того, на периферии Солнечной системы обнаружено облако Оорта, R ≈ n·10<sup>4</sup> а.е., которое, видимо, состоит из комет. Следовательно, K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> у комет согласно функции K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> = f(R) должны быть значительно выше, чем у хондритов. И действительно, в пыли кометы Галлея для пары химических аналогов C-Si K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> ≈ 13 <sup>/13/</sup>, что приблизительно в 30 раз превышает K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> углистых хондритов. Отсюда следует, что среди вещества, подающего на Землю, должно быть и вещество, имеющее K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> соответствующих пар химических аналогов значительно больше, чем у метеоритов. Учитывая это, сравним составы метеоров и метеоритов. Сравнение абсолютных значений K затруднено из-за низкой точности измерений содержания элементов в метеорах. В табл. 4 даны значения отношений K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> элементов аналогов. Отметим достаточно ярко выраженную близость значений K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> у всех хондритов, имеющих разный тип. С вышеизложенной точки зрения это согласуется с предположением о существовании на месте пояса астероидов их общего материнского тела (планеты), R ≈ 2,8 а.е. В этом случае различие составов хондритов и железных метеоритов было бы обусловлено высокотемпературными окислительно-восстановительными процессами, протекавшими при выделении железного ядра этой планеты. Знаменательной является близость K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> для Fe-Ni у хондритов и железных метеоритов, что хорошо согласуется с близостью их поведения в этих высокотемпературных процессах.

Из данных табл. 4 видно, что среди метеоров присутствует не более 60% таких, у которых отношения K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub> близки к метеоритным. Однако, как и предполагалось выше, имеются и другие метеоры со значительно большими K<sub>1</sub>/K<sub>2</sub>. Наиболее вероятно - это кометное вещество. Если это так, то, видимо, можно обнаружить факты, говорящие о поступлении кометной воды на Землю. И действительно, в последнее время стало известно о вспышках земной атмосферы, наблюдаемых со спутников. Измерения показали, что излучают возбужденные молекулы H<sub>2</sub>O. Чтобы объяснить это водой,

Таблица 3

Отношение концентраций  $K_1/K_2$  для элементов - химических аналогов  $Z_1/Z_2$  в Земле и других объектах Солнечной системы

Объекты	Земля /3/		Метеориты /3/		Рассолы /14/	Океани- -ческая вода* /3/	Луна /3/*
	Изверженные (гранитные) породы	Хондриты	Каменные (каменные)	Железные (углистые)			
H/Na	$5,9 \cdot 10^{-2}$ ( $2,3 \cdot 10^{-2}$ )	$8,0 \cdot 10^{-2}$			1,2	9,3	
Na/Cs	$2,4 \cdot 10^4$ ( $5,3 \cdot 10^3$ )	$7,8 \cdot 10^4$ ( $7,0 \cdot 10^4$ )		$2,9 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^8$	$2,0 \cdot 10^8$	$(1,3 \pm 1,0) \cdot 10^5$
K/Cs	$2,2 \cdot 10^4$ ( $7,0 \cdot 10^3$ )	$2 \cdot 10^4$ ( $8,5 \cdot 10^3$ )		$7,9 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^6$	$7,0 \cdot 10^7$	$(9,6 \pm 5,7) \cdot 10^3$
Rb/Cs	90,0 (40,0)	45,0 (50,0)		12,1	$2,0 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^3$	$27,4 - 6,6$
Ag/Rb	$7,8 \cdot 10^{-4}$ ( $1,9 \cdot 10^{-4}$ )				$1,0 \cdot 10^{-4**}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$(5,0 \pm 4,8) \cdot 10^{-2}$
Au/Cs	$4,0 \cdot 10^{-3}$ ( $1,6 \cdot 10^{-3}$ )			0,2	$1,0 \cdot 10^{-5**}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-3} A-11$
Au/Cu	$7,0 \cdot 10^{-5}$ ( $8,0 \cdot 10^{-5}$ )			0,95	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-2} L-16$
Mg/Ba	54,8 (39)	$1,8 \cdot 10^4$ ( $2,3 \cdot 10^4$ )	$1,2 \cdot 10^4$ ( $2,4 \cdot 10^4$ )		60,0	$4,4 \cdot 10^4$	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$
Ca/Ba	81,33 (13,0)	$2,2 \cdot 10^3$ ( $2,3 \cdot 10^3$ )	$2,8 \cdot 10^3$		300,0	$1,4 \cdot 10^4$	$(2,5 \pm 1,0) \cdot 10^2$
Sr/Ba	0,9 (0,2)	1,7 (1,7)	2,0		12,0	275,0	$0,6 \pm 0,3$
Hg/Ba	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$ (0,5)		0,3	$1,7 \cdot 10^{-6*}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3} L-16$
Hg/Zn	$1,2 \cdot 10^{-3}$ ( $1,0 \cdot 10^{-3}$ )	$3,0 \cdot 10^{-3}$ ( $6,0 \cdot 10^{-2}$ )		$(5,0 \pm 2,5) \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-5} A-11$ $1,2 \cdot 10^{-2} L-16$
Hg/Cd	0,4 (0,3)				$(6,0 \pm 3,0) \cdot 10^{-5}$	0,04-5,0	1,3 L-16
Ga/Tl	33,3 (8,7)	3,4 ( $3,0 \cdot 10^3$ )	$1,0 \cdot 10^3$			3,0	$(4,9 \pm 2,2) \cdot 10^3$
Y/La	1,1 (0,7)	3,0 (2,7)		8,4		4,1	6,7 A-11 5,3 L-16
In/Tl	0,3 (0,1)	1,7 ( $1,0 \cdot 10^2$ )		0,9		1,0	$4,7 \pm 2,8$

Продолжение таблицы 3

	1	2	3	4	5	6	7
Al/U	$6,8 \cdot 10^4$ ( $2,5 \cdot 10^4$ )	$1,7 \cdot 10^5$ ( $8,7 \cdot 10^5$ )	$4 \cdot 10^7$ ( $8,5 \cdot 10^5$ )		$3,0 \cdot 10^{-3}$	1,5	$1,1 \cdot 10^5 A-11$ $5,0 \cdot 10^4 A-12$
Sc/La	0,7 (0,1)	2,7 (20,0)		26,4		0,5	$3,5 \pm 0,7$
Y/La	1,1 (0,7)	3,0 (2,7)		8,4		4,1	6,7 A-11 $5,3 L-16$
C/Pb	16,0 (15,8)	$2,0 \cdot 10^2$ ( $2,0 \cdot 10^3$ )	$2,2 \cdot 10^4$ ( $1,2 \cdot 10^4$ )		12,0	$9,4 \cdot 10^5$	$48 \pm 27$
Si/Pb	$2,3 \cdot 10^4$ ( $1,8 \cdot 10^4$ )	$1,0 \cdot 10^5$ ( $9,1 \cdot 10^5$ )	$8,0 \cdot 10^2$ ( $3,7 \cdot 10^4$ )		5,0	$3,4 \cdot 10^4$	$(7,5 \pm 4,9) \cdot 10^4$
Ge/Pb	$9,1 \cdot 10^2$ ( $6,9 \cdot 10^{-2}$ )	4,5 (50,0)	$3,9 \cdot 10^3$ (12,2)		$5,0 \cdot 10^{-3}$	2,0	<0,4 A-11 0,3 L-16
Sn/Pb	0,2 (0,2)	1,4 (5,0)	157,2 (5,7)			0,4	$0,7 \pm 0,2$
Si/Hf	$2,8 \cdot 10^4$ ( $8,7 \cdot 10^4$ )	$2,1 \cdot 10^5$ ( $3,6 \cdot 10^5$ )	$3,2 \cdot 10^5$			$1,3 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4 A-11$
Zr/Hf	55,0 (46,2)	100 (60,0)	28,2				28,5 A-11 37,7 L-16
Hf/Th	0,3 (0,3)	0,5 (12,5)	8,0			$2,0 \cdot 10^2$	6,5 A-11
N/Bi	$1,2 \cdot 10^2$ ( $3,0 \cdot 10^3$ )	$1,0 \cdot 10^3$ ( $3,4 \cdot 10^2$ )	$1,7 \cdot 10^4$			$2,5 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^5 A-11$
P/Bi	$6,2 \cdot 10^3$ ( $6,0 \cdot 10^4$ )	$1,0 \cdot 10^6$ ( $1,7 \cdot 10^5$ )	$4,4 \cdot 10^3$ ( $1,1 \cdot 10^4$ )			$3,5 \cdot 10^3$	$(4,4 \pm 3,2) \cdot 10^5$
As/Bi	10,7 (150,0)	$5,9 \cdot 10^2$ (94,5)	6,3 (29,7)		$\sim 20 **$	$1,2 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^2 A-11$
N/Ta	10,0 (10,8)	2,4 (50,0)	$1,0 \cdot 10^5$			$2,5 \cdot 10^4$	58,8 A-11
P/Ta	$5,3 \cdot 10^2$ ( $1,6 \cdot 10^2$ )	$4,2 \cdot 10^3$ ( $2,5 \cdot 10^4$ )	$3,7 \cdot 10^4$ ( $7,0 \cdot 10^4$ )			$3,5 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^2 A-11$
Ta/Nb	0,1 (0,1)	1,3 (15,0)	3,4 (25,0)			12,0	0,8 A-11
Te/O	$2,0 \cdot 10^{-9}$ ( $2,0 \cdot 10^{-9}$ )		$(1,5 \cdot 10^{-6}$ $7,3 \cdot 10^{-6}$ )			$1,2 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-8} A-11$
Ta/S	$3,9 \cdot 10^{-6}$ ( $2,5 \cdot 10^{-6}$ )		$(2,5 \cdot 10^{-5}$ 5,3)			$5 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-5} A-11$
Te/W	$6,7 \cdot 10^{-4}$ ( $4,6 \cdot 10^{-4}$ )		(3,4			8,3	$0,2 \pm 0,1$

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Cr/Mo ***	60,0	1,4.10 <sup>3</sup>	14,1		6.10 <sup>-2</sup>	4,2.10 <sup>3</sup> A-11
	(7,6)	(41,7	3,7.10 <sup>3</sup> )			
Mo/U	0,6	2,0	2,5.10 <sup>3</sup>	~7	3,1	1,0 A-11
	(0,4)	(40,0,	60,0)			
Mo/W ***	1,0	0,2	2,1		83,4	1,7 A-11
	(0,6)	(4,0	4,3)			
Cl/I	260,0	7,2.10 <sup>2</sup>	6,4.10 <sup>3</sup>		3,3.10 <sup>5</sup>	<2,3.10 <sup>3</sup> A-11
	(400,0)	(1,8.10 <sup>3</sup>	86,7)			105,0 L-16
Br/I	5,0	19,8	1,7	2,0	1,2.10 <sup>3</sup>	16,7 A-11
	(2,6)	(12,5	16,7)			1,3 L-16
Ru/Fe	1,8.10 <sup>-8</sup>		1,2.10 <sup>-5</sup>		2,4.10 <sup>-4</sup>	7,0.10 <sup>-7</sup> L-16
		(4,0.10 <sup>-6</sup>	3,8.10 <sup>-6</sup> )			
Os/Fe	2,7.10 <sup>-8</sup>		8,4.10 <sup>-6</sup>			2,0.10 <sup>-7</sup> L-16
		(2,0.10 <sup>-6</sup>	2,5.10 <sup>-6</sup> )			
Os/Ru	3,0.10 <sup>-3</sup>		12,7			0,3 L-16
		(12,5	1,5)			
Rh/Co	4,0.10 <sup>-5</sup>		6,5.10 <sup>-4</sup>		(4,2±0,9).10 <sup>-3</sup>	
		(2,4.10 <sup>-4</sup>	4,2.10 <sup>-4</sup> )			
Ir/Co	4,0.10 <sup>-5</sup>		4,8.10 <sup>-4</sup>		2,2.10 <sup>-4</sup>	A-12
	(1,0.10 <sup>-4</sup> )	(6.10 <sup>-4</sup>	8,4.10 <sup>-4</sup> )			3,0.10 <sup>-5</sup> L-16
Ni/Pd	7,2.10 <sup>3</sup>	2,4.10 <sup>4</sup>				4,5.10 <sup>2</sup> L-16
		(1,4.10 <sup>4</sup>	1,7.10 <sup>4</sup> )			
Pt/Ni	6,7.10 <sup>-5</sup>		2,2.10 <sup>-4</sup>			2,9.10 <sup>-5</sup> L-16
		(1,5.10 <sup>-4</sup>	9.10 <sup>-5</sup> )			
Pt/Pd	0,5		5,2			1,3.10 <sup>-2</sup> L-16
		(2,0	1,5)			0,9 L-16, A-11

\* Космические тела, удаленные от Солнца, а значит, и океаническая вода, обогащены легкими изотопами, особенно у элементов с малым  $J$ . Луна также обогащена легкими изотопами /14-19/.

\*\* Концентрации элементов взяты из работ /20,21/.

\*\*\* Если у пары элементов  $Z_1$  и  $Z_2$  отношение  $J_2/J_1$  близко к единице, то следует учитывать отношения долей многозарядных ионов  $N_2^{23+}/N_1^{23+}$ . Например, у пар Cr-Mo и Mo-W эти отношения равны 1,7 и 2,5 соответственно.

поступающей из космоса, необходимо предположить, что каждую минуту на Землю привносится около  $2 \cdot 10^3$  т воды, а за  $10^9$  лет это будет равно массе океанической воды ( $\sim 1,4 \cdot 10^{18}$  т) /22/. Конечно, такое объяснение необычного состава метеоров и свечения атмосферы является дискуссионным. Но при его реальности следует предсказать необычный состав океанической воды, отличающийся от геотермальных вод, т.к. в океан, которому принадлежит 2/3 поверхности Земли, а также сточные воды с материка, попадает основная часть космического вещества, поступающего на Землю.

Рассмотрим подробнее относительный элементный состав океанической воды. Известны данные /23/, позволяющие утверждать, что макросостав вод океана привнесен из мантии Земли с геотермальными рассолами. В работе /5/ выполнен более глубокий анализ относительного содержания микроэлементов в океанической воде и в геотермальных рассолах, из результатов которого видно, что микросостав рассолов резко отличен от состава морской воды. В табл. 3 сравниваются  $K_1/K_2$  океанической воды, рассола полуострова Челекен, изверженных и гранитных пород Земли и метеоритов. Отсюда видно, что для всех рассматриваемых пар элементов - химических аналогов, кроме щелочных элементов (из-за больших  $J$  их земная концентрация значительно выше метеоритной) в океанической воде  $K_1/K_2$  значительно больше, чем в геотермальной воде и породах Земли.  $K_1/K_2$ , например, для Mo и U не подчиняется общему правилу. Но подобные исключения скорее подтверждают общее правило, т.к. в данных условиях Mo не образует устойчивых карбонатных комплексов, и в океанической воде, богатой карбонатами, Mo и U нельзя считать химическими аналогами.

Обнаруженное обогащение морской воды, по сравнению с рассолами, большим числом химических аналогов с меньшим значением  $J$  объяснить процессами метаморфизма (упаривание и др.) не представляется возможным. К тому же наблюдается обогащение легкими изотопами космических тел и океанической воды, см., например, /14-19/. И действительно, под действием света легкие изотопы должны приобретать большие ускорения при индуцированном дрейфе. Особенно этот эффект должен быть заметным у легких элементов с малым значением  $J$ .

Замечательным является то, что для некоторых пар химических аналогов  $K_1/K_2$  в океанической воде (С-Рь, Cl - I, Mo-W, Br - I и др.) не только больше, чем в рассоле и Земле, но и превосходят, как и ожидалось выше, значения  $K_1/K_2$  даже углистых хондритов.

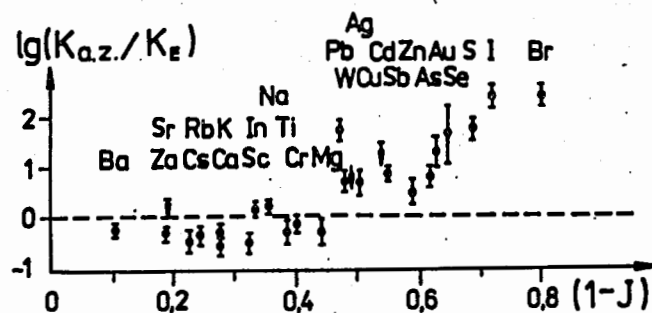
Безусловно, если океан получает космическое вещество, обогащенное элементами согласно зависимости  $K_1/K_2 = f(R)$ , то это вещество можно наблюдать и в атмосфере, и не только в виде метеоров. На рисунке изображен  $\lg(K_{az}/K_E)$  от  $1 - J$ , где  $K_{az}$  и  $K_E$  - концентрации элементов в аэрозолях, собранных над Южным полюсом Земли /24/, и в земных породах

Таблица 4

Отношения распространенностей и концентраций  $K_1/K_2$  для некоторых пар элементов - химических аналогов в метеорах и метеоритах

Объекты и авторы	$Z_1/Z_2$	Mg/Ca	Fe/Al	Fe/Mn	Ni/Fe
<b>Метеоры :</b>					
Цеплеха		7,8	2754,2	575,4	0,105
Цеплеха		2344,0	4466,8	741,3	0,501
Харин		25,7			
Харин		7,6	15,0		0,100
Нагасова		11749,0			
Нагасова		4570,0		4677,0	
Миллман		11,2			
<b>Метеориты :</b>					
<b>Б. Мэйсон</b>					
тип H		11,7	27,5	123,0	0,06
L		11,7	20,0	91,2	0,05
L L		12,0	17,8	79,4	0,04
C 1		9,1	21,9	97,7	0,05
C 11		7,9	20,4	134,9	0,06
C 111		8,5	18,2	169,8	0,06
<b>А. А. Явнель</b>					
Хондриты		10,0	20,0	112,2	0,05
Железные метеориты		0,64	22700,0	3026,7	0,095

\* Данные заимствованы из работы <sup>125/</sup>.



Зависимость  $\lg(K_{az}/K_E)$  от  $1-J$ .

$K_{az} = (K_x/K_{Fe})_a z$  - относительное содержание элемента в аэрозолях <sup>124/</sup>,  
 $K_E = (K_x/K_{Fe})_E$  - относительное содержание элемента в Земле <sup>13/</sup>,  
 $K_{az}/K_E = 1$  выбрано условно.

соответственно. Из этих данных отчетливо видно относительное обогащение аэрозольного вещества элементами с малыми значениями  $J$ , что согласуется с вышеизложенным.

Видимо, можно указать и другие следствия существования процесса сепарации элементов в протопланетном облаке. Однако приведенных фактов достаточно, чтобы этот процесс из гипотетического перевести в разряд реально существовавших.

Попытка найти аналитическое выражение зависимости  $K_1/K_2 = f(R)$  показывает, что для его нахождения требуются дополнительные данные и более тщательный их анализ. Однако и в таком виде эту зависимость можно использовать для сравнения различных объектов с целью обнаружения их неземного происхождения.

## II. Сравнение $K_1/K_2$ лунного грунта, земных пород и ГКЛ

В работе <sup>15/</sup> уже сравнивали значения  $K_1/K_2$  для некоторых пар химических аналогов в лунном грунте, в осадочных породах и литосфере Земли. В этой работе были отмечены более высокие значения  $K_1/K_2$  у Луны. В табл. 3 лунный грунт сравнивается с изверженными и гранитными породами Земли и веществом трех классов метеоритов. Для Луны приведены средние значения  $K_1/K_2$  по трем измерениям: Аполло-II (A-II) и -I2 (A-I2) и Луна-16 (L-16) и даны среднеквадратичные отклонения. Иногда приводятся  $K_1/K_2$  по результатам каждого имеющегося измерения. Из этих данных видно, что лунный грунт действительно, хоть и в меньшей степени, чем метеориты, заметно отличается от изверженных и гранитных земных пород. Лунный грунт, как и марсианский, см. табл. 1, занимает по значениям  $K_1/K_2$  промежуточное положение между Землей и метеоритами. К тому же в работе <sup>126/</sup> найдено обогащение Луны легкими изотопами некоторых элементов, см. выше.

Анализ абсолютных концентраций элементов в Земле, Луне и метеоритах показывает, что получить лунный грунт из земного вещества с помощью добавки метеоритов не представляется возможным.

Однако нельзя исключить, что лунный грунт отличается от земного из-за его бомбардировки галактическими космическими лучами (ГКЛ) и солнечными энергичными частицами (СЭЧ).

Рассмотрим несколько подробнее элементный состав этих дополнительных источников нуклидов. В табл. 5 представлены значения  $K_1/K_2$  для ГКЛ и Солнца. Из этих данных видно, что экспериментальные значения  $K_1/K_2$  для ГКЛ заметно отличаются от  $K_1/K_2$  для Солнца, значения которых отражают соотношение концентраций элементов в продуктах нуклеосинтеза <sup>17/</sup>.

В работах <sup>127-29/</sup> обращено внимание на обогащение ГКЛ тяжелыми изотопами, которые являются абсолютными химическими аналогами. Указанное



Таблица 5

Отношения распространенностей  $K_1/K_2$  для элементов - химических аналогов в Солнце и галактических космических лучах (ГКЛ)

$Z_1/Z_2$	Солнце		ГКЛ (эксперим. данные)	ГКЛ.У	$\gamma = E_1/E_2$ $J_1/J_2 \cdot \sqrt{M_2/M_1}$
	(расчет <sup>1/</sup> )	(оптические данные <sup>3/</sup> )			
1	2	3	4	5	6
He/Ne	$6,9 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^2$	$(1,9 \pm 0,2) \cdot 10^2$ (a)	$(5,1 \pm 0,6) \cdot 10^2$	2,67
Ne/Ar	24,5	10,0	$17,5 \pm 3,1$ (a)	$31,8 \pm 5,7$	1,92
H/Na	$4,4 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$	$(1,5 \pm 0,8) \cdot 10^4$ (a)	$(4,6 \pm 2,5) \cdot 10^5$	30,48
Na/K	17,1	20,5	$2,9 \pm 0,9$ (c)	$4,8 \pm 1,6$	1,65
Na/Rb	$9,8 \cdot 10^3$	$9,4 \cdot 10^4$	$(1,5 \pm 1,4) \cdot 10^4$ (a,c)	$(4,0 \pm 3,8) \cdot 10^4$	2,68
Na/Cs	$1,6 \cdot 10^5$		$(2,3 \pm 1,3) \cdot 10^4$ (a,d)	$(8,3 \pm 4,7) \cdot 10^4$	3,60
Rb/Ag	13,2	5,0	$1,6 \pm 1,3$ (e)	$6,6 \pm 5,4$	4,13
Cu/Au	$1,2 \cdot 10^3$		$2,9 \cdot 10^3$ (b,d)	$8,1 \cdot 10^3$	2,80
Mg/Ca	17,0	13,0	$8,2 \pm 2,5$ (b)	$24,0 \pm 7,4$	1,63
Sr/Ba	4,8	3,1	$2,0 \pm 0,8$ (c)	$2,9 \pm 1,2$	1,45
Ca/Ba	$1,3 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$(2,7 \pm 1,1) \cdot 10^4$ (b,c)	$(7,2 \pm 3,1) \cdot 10^4$	2,65
Zn/Cd	$8,1 \cdot 10^2$	$4,7 \cdot 10^2$	$(2,5 \pm 2,0) \cdot 10^2$ (a,o)	$(4,6 \pm 3,7) \cdot 10^2$	1,83
Zn/Hg	$6,0 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	$(4,7 \pm 3,6) \cdot 10^2$ (a,o)	$(2,3 \pm 1,7) \cdot 10^3$	4,74
Al/Ga	$2,3 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^4$	$(1,2 \pm 0,9) \cdot 10^3$ (a,c)	$(1,3 \pm 1,0) \cdot 10^4$	4,67
Ga/In	$2,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$ (d)	$4 \cdot 10^2$	1,06
Y/La	13,0	20,0	$11,5 \pm 5,3$ (c,d)	$15,6 \pm 7,2$	1,35
La/In	1,95	61,8	5,4 (d)	20,6	3,82
In/Tl	1,0		2,3 (d)	6,0	2,67
Fe/U*	$7,0 \cdot 10^7$		$1,0 \cdot 10^7$ (g)	$1,3 \cdot 10^7$	1,30
Ce/U*	88,3		19,6 (c,g)	24,3	1,24
C/Ge	$9,5 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^6$	$(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^5$ (a,e)	$(6,1 \pm 1,7) \cdot 10^5$	5,56
Si/Sn	$2,7 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^6$	$(2,4 \pm 0,5) \cdot 10^5$ (b,c)	$(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^6$	4,39
C/Pb	$4,3 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^7$	$(2,8 \pm 1,5) \cdot 10^6$ (a,c)	$(1,8 \pm 0,9) \cdot 10^7$	6,38
Zr/Hf	70,6	$1,3 \cdot 10^2$	$\leq 80$ (c)	$\leq 103$	1,28
Zr/Th*	$2,7 \cdot 10^2$		$1,6 \cdot 10^2$ (e,g)	$3,8 \cdot 10^2$	2,38
N/P	$3,6 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^3$	$40 \pm 19$ (b) 4	$(1,5 \pm 0,7) \cdot 10^2$	3,81
P/Sb	$2,1 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^5$	$(2,6 \pm 1,3) \cdot 10^4$ (b,d)	$(1,1 \pm 0,6) \cdot 10^5$	4,01
Nb/Sb	2,9	10,0	$4,1 \pm 2,8$ (c,d)	$5,1 \pm 3,5$	1,23
Nb/Ta	50,0	$6,4 \cdot 10^2$	$(1,7 \pm 1,2) \cdot 10^2$ (d)	$(1,9 \pm 1,4) \cdot 10^2$	1,13
O/S	36,8	79,1	$28,7 \pm 2,5$ (b)	$99,0 \pm 8,7$	3,45
S/Se	$7,5 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^3$	$(3,0 \pm 1,1) \cdot 10^3$ (a,c)	$(7,1 \pm 2,6) \cdot 10^3$	2,35
Mo/W	13,3	15,7	$9,9 \pm 9,8$ (c)	$12,4 \pm 12,3$	1,25

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6
F/Cl	0,2	0,4	$3,3 \pm 0,9$ (b)	$9,7 \pm 2,7$	2,93
Br/I	7,3		$7,9 \pm 2,6$ (c,d)	$19,3 \pm 6,4$	2,45
Fe/Ru**	$4,8 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$	$(2,9 \pm 0,2) \cdot 10^5$ (c)	$(7,4 \pm 0,5) \cdot 10^5$	2,54
Fe/Os	$1,3 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^7$	$(9,7 \pm 6,6) \cdot 10^5$ (c)	$(2,6 \pm 1,8) \cdot 10^6$	2,69
Co/Rh	$2,0 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^2$ (b,c)	$3 \cdot 10^3$	3,09
Ni/Pd	$3,7 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$ (a,c)	$9 \cdot 10^4$	4,50

$K_1/K_2$  Rb-Cs можно получить, имея  $K_1/K_2$  Na-Rb и Na-Cs.

\* В работе /30/  $K_1/K_2$  для Th+U и Fe равно  $(1-2) \cdot 10^{-7}$ . Здесь для Th-Fe и U-Fe  $K_1/K_2$  принято  $- 1 \cdot 10^{-7}$ . Однако для сближения  $K_1/K_2$  Солнца и ГКЛ у пар Zr-Th, Fe-U и Ce-U необходимо принять у Th-U  $K_1/K_2 > 3$ .

\*\* Оксиды подобных элементов неустойчивы в присутствии  $H_2$ , а - /31/, б - /32/, с - /33/, д - /34/, е - /35/, г - /30/.

обогащение связывается с разной магнитной жесткостью изотопов. Учитывая этот факт, с целью компенсации разности масс сравниваемых элементов - химических аналогов, умножим экспериментальное значение  $K_1/K_2$  в ГКЛ на множитель  $\sqrt{M_2/M_1}$ , где  $M_1$  и  $M_2$  - массы сравниваемых нуклидов. Полученные произведения, действительно, становятся ближе к солнечным значениям, например, у пары H-Na. Но все же отмеченное выше различие остается довольно заметным.

В этой связи обращает на себя внимание обнаруженная в работах /29, 30, 36, 37/ корреляция дефицита элементов в ГКЛ и СЭЧ по сравнению с Солнцем от потенциала ионизации их атомов. Эту корреляцию можно объяснить разной долей заряженных атомов  $J$ , если ускорение ГКЛ происходит в электрическом поле. И действительно, для некоторых сравниваемых элементов, близких по химической активности (особенно для благородных газов), умножение экспериментальных значений  $K_1/K_2$  у ГКЛ на два множителя  $\sqrt{M_2/M_1}$  и  $J_2/J_1$  приводит к произведению, равному  $K_1/K_2$  у Солнца. Однако у целого ряда сравниваемых элементов подобного полного сближения не происходит. Общим признаком таких пар нуклидов является значительное различие их химической активности, а значит, и прочности возможных химических соединений. Безусловно, указанные различия могли бы реализоваться лишь в том случае, если ГКЛ ускорялись из среды с температурой меньшей, чем энергия связи химических соединений. Напомним, что 1 эВ эквивалентен 11604,5 К, а в фотосфере Солнца  $T \approx 5800$  К /38/.

В настоящее время известно о существовании в космосе различных радикалов и молекул, см. например, /39/. Однако в первом приближении доста-



точно сравнить энергии образования наиболее устойчивых форм элементов при нормальных условиях.

Для наиболее распространенных элементов в солнечной атмосфере Н и  $\text{N}$  (в табл. 2 их символы заключены в квадратные скобки) в качестве более устойчивой формы приняты их простые вещества. У кислорода в качестве наиболее устойчивого взято соединение с углеродом, т.к. оксиды металлов могут связать меньшую часть кислорода, которой можно пренебречь. Микроэлементы, символы которых не выделены, имеют более устойчивые соединения с кислородом.

В табл. 2 приведены значения энергий образования (Е) при нормальных условиях указанных форм элементов, оцененные по данным работы /40/. В табл. 5 даны значения фактора  $\gamma = E_1/E_2 J_2/J_1 \sqrt{M_2/M_1}$ , который учитывает отклонения  $K_1/K_2$  в ГКЛ, обусловленные процессами диссоциации, ионизации и магнитной сепарации. Сравнивая исправленные с помощью  $\gamma$  значения  $K_1/K_2$  ГКЛ и Солнца, см. табл. 5, видим, что они в подавляющем большинстве значимо не различаются. Полученный результат можно объяснить тем, что отношения концентраций стабильных продуктов нуклеосинтеза не зависят от длительности и времени окончания процессов нуклеосинтеза. Отметим, что из рассмотрения были исключены микроэлементы типа  $\text{Sc} \pm \text{Cr}$ , которые могут образовываться при взаимодействиях ускоренных нуклидов более тяжелых микроэлементов с межзвездным веществом. В табл. 5 для примера приведена  $K_1/K_2$  для F-Cl и Br-I.

Далее, известна зависимость  $K_1/K_2$  в ГКЛ от их энергии. Например, в диапазоне 1-10 ГэВ на нуклон для некоторых пар элементов: Cl-Fe, Ar-Fe, K-Fe, Co-Fe, Na-Mg и Si-Fe  $K_1/K_2$  уменьшается в 1,1-2,8 раза. Оценка показывает, что отношение  $N^{2+}/J$ , см. выше, т.е. относительная доля многозарядных ионов, у Fe и Mg выше, чем у сравниваемых элементов. Для Fe, Mg, Na, Cl, Ar и K она равна: 0,1; 0,099; 0,018; 0,075; 0,065 и 0,056, а  $N^{3+}/J$  для Fe, Si и Ca равно:  $5,8 \cdot 10^{-3}$ ;  $5,2 \cdot 10^{-3}$  и  $1,8 \cdot 10^{-3}$  соответственно. Эти факты хотя и говорят о предпочтительном ускорении многозарядных ионов, но, из-за малости их доли в общем числе ионов, они не сильно искажают описанную выше картину относительной распространенности элементов в ГКЛ.

В солнечных энергичных частицах (СЭЧ) также измерено содержание некоторых элементов. Например, /41/ для He-Ne, Ne-Ar, O-S, Mg-Ca и Fe-Ni (Cu, Zn)  $K_1/K_2$  приблизительно составляют не менее  $2,1 \cdot 10^2$ , 30; 48; 6 и 5 соответственно. Интересно отметить, что дефицит элементов в СЭЧ по отношению к Солнцу /41/ практически не выходит за рамки фактора  $\gamma$ , найденного для ГКЛ. Следовательно, механизмы образования СЭЧ и ГКЛ имеют определенное сходство.

Более глубокий анализ природы ГКЛ и СЭЧ не является целью настоящей работы. Однако необходимо обратить внимание на следующие моменты: ГКЛ и СЭЧ относительно Солнца обогащены тяжелыми элементами, см., например,  $K_1/K_2$  у пар He-Ne, C-Si, Zn-Hg и др. Однако механизм такого обогащения отличается от механизма сепарации элементов в протопланетном облаке, поэтому в табл. 3 иногда элемент (Rb, Ag и др.) стоит в числителе, а в табл. 5 он же стоит в знаменателе и наоборот. Кроме того, в этих таблицах помещены иногда разные пары элементов одной и той же группы. Например, пара Ga-Zn, хотя и рассматривается в табл. 5, но т.к. у нее  $J_2/J_1$  близко к единице и четко обнаружить их сепарацию в протопланетном облаке не удастся, то эта пара элементов отсутствует в табл. 3. Остается открытым вопрос о существовании хотя бы слабой компоненты ГКЛ, у которой  $K_1/K_2$  не зависит от  $\gamma$ .

Сравним  $K_1/K_2$  лунного грунта и ГКЛ, см. табл. 3 и 5. Видно, что  $K_1/K_2$  у пары элементов Rb-Cs в лунном грунте выше, чем в ГКЛ. В то же время  $K_1/K_2$  для других пар химических аналогов при их близости в земных и лунных породах в ГКЛ очень велики (например, у C-Pb и др.). Сопоставление  $K_1/K_2$  и других пар элементов (табл. 3 и 5) позволяет утверждать, что различие составов лунного грунта, изверженных и гранитных пород Земли не обусловлено приносом элементов на Луну с ГКЛ и СЭЧ, имеющих современную интенсивность.

Следовательно, предположение, высказанное в работе /5/ о том, что аккреция вещества Луны происходила не на земной, а на более отдаленной от Солнца орбите (возможно, более далекой, чем марсианская) остается пока единственным объяснением обнаруженного факта.

В свете сказанного выше (учитывая недоступность для деструктивного анализа больших масс метеоритов) океаническая вода, осадки океана, а также вещество Луны, которое в недалеком будущем может оказаться более доступным, чем метеориты, приобретают дополнительный научный интерес, т.к. их состав значительно отличается от земного. Более тщательное изучение этих объектов в указанном выше свете может ускорить понимание механизма образования планетарной системы Солнца.

В заключение автор приносит искреннюю благодарность Ю.Ц.Оганесяну за интерес к данной проблеме и ценные советы, Ю.С.Лютостанскому за полезную дискуссию, Л.Кашуре и Нгуен Тхи Динь за помощь в работе.

Учитывая важность рассмотренных проблем и то, что автор не считает себя специалистом во многих затронутых вопросах, он заранее благодарен читателям за замечания в адрес данной работы, которая нуждается в дискуссии.

### Литература

1. A.G.W.Cameron -Essays in Nuclear Astrophysics Edited by C.A.Barnss, D.D.Clayton, D.N.Schramm, 1982 Cambridge University Press, p.23-43.
2. S.P.Meyer -16th JCRC, 1979, Kyoto, pp. 115-120.
3. А.А.Кист -Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии, Ташкент, "Фан", 1987, 236 стр.
4. Д.Н.Ларин -Гипотеза изначально гидридной Земли, М.:Недра, 1980,215с.
5. П.Т.Чубурков -Труды IX Всесоюзного симпозиума по проблемам космохимии и метеоритике. Киев: Наукова думка, 1988, 100 с.
6. В.Л.Барсуков, А.Т.Базилевский -Природа, 1986, № 6, с.24-35.
7. P.Toulmin et al.-J.Geophys. Res. 1977, v.82, p. 4625-4634.
8. V.F.Mikhailov, J.Ruzicka -Acta physica univ. comen. - XXIX, 1989, p. 97-148.
9. С.Н.Атутов и др.-ЖЭТФ, 1987, т.92, вып.1, с.1215.
10. В.Ф.Коваленко, Э.Л.Нагаев -Усп. физ. наук,1986, т.148, № 4, с. 561-602.
11. А.Б.Верховский -Природа 1986, № 3, с. 45-54.
12. Л.П.Рузинов, Б.С.Гуляницкий -Равновесные превращения металлургических реакций, М.: Металлургия, 1975, 289 с.
13. J.Geiss -Astron. Astrophys. 1987, 187, p. 859-866.
14. Л.М.Лебедев, И.Б.Никитина -Челекенская рудообразующая система. М.: Наука, 1983, 240 с.
15. R.H.Clayton, N.Onhma -Earth and Planetary Science Letters, 1976, v.30, p.10-18.
16. R.K.Kuroda -Geoch. J. 1975, v.9, pp. 51-62.
17. P.Eberhardt et al.-Astron. Astrophys. 1987, v.187, pp. 435-437.
18. В.И.Кононов, Б.Г.Поляк -Геохимия, 1982, № 2, с. 163-177.
19. R.A.Zierenberg, W.C.Shanks -Geochim. et Cosmochim. Acta, 1986, v.50, p. 2205-2214.
20. Ю.Т.Чубурков, А.Г.Попеко, Н.К.Скобелев -Радиохимия, 1988, № 1, с. 112-121.
21. С.Н.Дмитриев и др.-Препринт ОИЯИ 12-88-401, Дубна, 1988, 8 с.
22. J.Anderson -New Scientist, 25 December 1986/1 January 1987, № 1540/1541, p.7.
23. Ю.Т.Чубурков и И.А.Зотов -ДАН СССР, Геохимия, 1985, т.280, № 5, с. \*1234-1238.
24. W.Maenhant, W.H.Zoller -J. of Radioanal. Chem. 1977, v.37, № 2, p. 637-650.
25. В.А.Бронштен -Физика метеорных явлений, М.: Наука, 1981, 250 с.

26. B.Srinivasan -Supplement 4, Geochim. et Cosmochim. Acta, v.2, pp. 2049-2064.
27. V.K.Balasubrahmanyam -16th JCRC, 1979, v.14, p. 1-1-134.
28. M.E.Wiedenbeck and D.E.Greiner -17th JCRC, 1981, № 2, p. 76-79.
29. R.A.Mewaldt -Geophysics and space physics, 1983, v.21, № 2, p. 295-305.
30. V.P.Pereygin et al.-Preprint of JINR, Dubna, 1989, E7-89-88, 19 p.
31. P.Goret et al.-17th JCRC, Paris, France, 1981, v.9, p.122-125.
32. M.M.Shapiro et al.-13th JCRC, 1973, p. 578-583.
33. F.H.Fowler et al.-The Astrophysical Journal, 1987, v.314, p.739-746.
34. P.B.Price -Space Science Reviews, 1973, v.15, pp. 69-88.
35. M.H.Israel et al.-16th JCRC, 1979, v.12, p.65-69.
36. M.Casse, P.Goret -15th JCRC, 1973, p.584-589.
37. R.A.Mewaldt -Proc. Conf. Ancient Sun Fossil record in the Earth, Moon and meteorites. Edited by R.O.Pepin, J.A.Eddy, R.B.Merrill, Printed in the USA, 1980, pp. 81-101.
38. J.E.Ross, L.H.Aller -Science, 1976, v.191, № 4233, p.1223-1229.
39. M.Guelin and P.Thaddeus -The Astrophysical Journal, 1977, 212, L81-L85.
40. И.Д.Верятин и др.-Термодинамические свойства неорганических веществ, редак. А.П.Зефиоров, справочник, Атомиздат, М., 1965, 460 с.
41. J.D.Sullivan et al.-13th JCRC, Denver, Colorado, 1973, p.357 (1-4).