

Б. Ю. ЛЕВИН

## О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 25 IX 1946)

1. Согласно взглядам акад. О. Ю. Шмидта (1), планеты образовались в результате слипания метеорных тел и пыли, составлявших некогда обширный рой вокруг Солнца, и потому состав всех планет должен быть одинаковым. Метеориты, выпадающие в настоящее время на Землю, или представляют собой остатки этого роя, или же являются осколками каких-то более крупных тел (последнее предположение подсказывается их внутренним строением). И в том и в другом случае их средний химический состав должен совпадать с составом Земли и других планет.

Обилие в метеоритах никелистого железа всегда рассматривалось как указание на его обилие вообще во вселенной, что и служило основанием для того, чтобы считать ядро Земли состоящим из железа. Согласно же метеоритной теории, должно иметь место не только качественное соответствие, но и количественное совпадение состава.

Каменные метеориты, составляющие значительное большинство, содержат многочисленные включения никелистого железа, которое вместе с железом, присутствующим в виде химических соединений, составляет в среднем 27% их массы (см. Ватсон (2)). Если учесть существование железных метеоритов, то получается, что никелистое железо составляет около 34% всего вещества, приносимого метеоритами на Землю. Это значение, быть может, несколько занижено, так как целый ряд факторов, по-разному проявляющихся у каменных и у железных метеоритов (испарение в атмосфере, дробление и связанная с ним большая вероятность заметить падение и большая опасность оставить часть выпавшего вещества не собранной и пр.), не поддается точному учету. Однако ясно, что никелистое железо составляет не менее  $\frac{1}{3}$  массы метеоритов, и мы посмотрим, можно ли приписывать такой же состав Земле и другим планетам.

2. По мнению Гутенберга (3), Земля содержит  $40 \pm 10\%$  железа, что прекрасно согласуется с составом метеоритов.

Для несколько более детального рассмотрения вопроса можно воспользоваться данными о распределении плотности внутри Земли, хотя это распределение до сих пор окончательно не установлено. В частности, для средней плотности ядра получились значения от 9 до  $12\frac{1}{2}$  г/см<sup>3</sup>. Согласно расчетам Буллена (4), средняя плотность ядра  $\bar{\delta}_j = 10,7$  г/см<sup>3</sup>, а плотность наружных слоев равна 3,4 г/см<sup>3</sup> на глубине 100 км и 5,7 г/см<sup>3</sup> у границы ядра (на глубине 2900 км). Возрастание плотности с глубиной вызывается, в основном, увеличением давления, которое у границ ядра достигает  $1,4 \cdot 10^6$  атм.

2 ДАН СССР, т. LV, № 6

Если предположить, что железо составляет  $\frac{1}{3}$  массы Земли, т. е. его  $1,99 \cdot 10^{27}$  г, и что все оно сосредоточено в ядре радиуса  $6370 - 2900 = 3470$  км, то получается  $\bar{\delta}_я = 11,4$  г/см<sup>3</sup>, а средняя плотность наружных силикатных слоев  $\bar{\delta}_с = 4,39$  г/см<sup>3</sup>. Эти результаты очень близки к данным Буллена.

Если же предположить, что  $\bar{\delta}_я = 9,0$  г/см<sup>3</sup>, то получается, что в ядре сосредоточено  $1,57 \cdot 10^{27}$  г железа, т. е. 79% его общего количества. Остальные 21% должны быть распределены в так называемом промежуточном слое (на глубине от 1000—1200 км до 2900 км). Паласситовое строение этого слоя предполагалось многими исследователями. Естественно считать, что содержание железа в этом слое быстро увеличивается с глубиной и соответственно возрастает плотность. И действительно, те варианты расчета распределения плотности, которые приводят к малому  $\bar{\delta}$ , дают быстрое возрастание плотности в промежуточном слое, так что у границы ядра почти нет скачка  $\delta$  (см. (5)).

Мы видим, таким образом, что метеоритная теория согласуется с любым вариантом распределения плотности внутри Земли.

3. Планеты земной группы и Луна обнаруживают между средней плотностью и размерами зависимость, представленную в табл. 1. Ват-

Таблица 1

	Радиус, км	$\bar{\delta}$ , г/см <sup>3</sup>
Луна . . . . .	1740	3,33
Меркурий . . .	2500	3,8
Марс . . . . .	3385	3,96
Венера . . . .	6200	4,86
Земля . . . . .	6370	5,52

сон (2) называет эту зависимость чрезвычайно загадочной и пишет:

«Поскольку Луна имеет плотность обыкновенных силикатов при низких давлениях, она не может содержать заметных количеств плотного металла в центре в качестве ядра. Меркурий и Марс могут иметь небольшие ядра, но неясно, являются ли они металлическими или же состоят из плотных сжатых силикатов. Земля, однако, имеет крупное плотное ядро и, вероятно, оно есть и у Венеры». Эти выводы Ватсона, основанные на исследовании Джеффриса (6), представляются недостаточно обоснованными. Работа Джеффриса имела своей целью проверку гипотезы Бернала о том, что быстрое возрастание плотности Земли на глубине около 400 км обусловлено перекристаллизацией оливина, и она не привела к однозначному решению. К тому же Джеффрис почему-то принимает для поверхностных слоев планет плотность оливина 3,29 г/см<sup>3</sup>, тогда как на самом деле она может быть даже меньше плотности земной коры, равной 2,7 г/см<sup>3</sup>.

Полагая попрежнему, что масса железа составляет  $\frac{1}{3}$  общей массы, и считая его плотность равной 8 г/см<sup>3</sup>, мы получаем для средней плотности силикатной части Луны, Меркурия и Марса величины, приведенные в табл. 2. Там же приведен объем металлической части  $V_{жк}$  по отношению к общему объему  $V$ . Полагая, что все железо сосредоточено в ядре, можно найти глубину  $x$  поверхности ядра, считая от поверхности тела.

У тел, имеющих плотное ядро, сила тяжести в наружных слоях

почти постоянна, и потому давление  $p$  у границы ядра может быть приближенно рассчитано по формуле

$$p = g\bar{\delta}_c x,$$

где  $g = \frac{4}{3}\pi GR\bar{\delta}$  — ускорение силы тяжести на поверхности тела ( $G$  — постоянная тяготения). Применяя ту же формулу к Земле, можно получить грубую оценку того, на какой глубине  $d$  на Земле имеют место те же давления.

Обратимся теперь к полученным выше значениям средней плотности силикатных слоев. У Луны их плотность  $2,6 \text{ г/см}^3$  очень близка к плотности земной коры, которая считается равной  $2,7\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$ .

Таблица 2

	$\bar{\delta}_c$ , г/см <sup>3</sup>	$V_{\text{ж}}/V$	$x$ , км	$p$ , атм	$d$ , км	$p_0$ , атм
Луна . . . . .	2,58	0,14	840	36000	80	50000
Меркурий . . .	3,01	0,16	1150	90000	210	130000
Марс . . . . .	3,16	0,16	1530	180000	420	250000

В то же время давление в нижних частях силикатного слоя Луны примерно такое же, как у нижней границы земной коры, и, следовательно, этот результат является совершенно естественным. На Меркурии и на Марсе давление у границы ядра больше и соответственно больше средняя плотность силикатной части. Так, на Марсе это давление примерно такое же, как на глубине около 400 км. Различные варианты распределения плотности дают для этих глубин  $3,3\text{--}3,9 \text{ г/см}^3$ , что вполне согласуется со средней плотностью силикатных слоев Марса, равной  $3,2 \text{ г/см}^3$ .

Сильное сжатие Марса указывает на то, что его внутреннее строение более однородно, чем у Земли (?). Поэтому возможно, что на Марсе, а также на Луне и на Меркурии, вследствие меньшей силы тяжести, процесс расслоения на железную и силикатную части зашел не так далеко, как на Земле (быть может, это связано и с меньшей температурой их недр). Однако, даже при совершенно однородном строении этих тел, давление в центре их  $p_0 = \frac{1}{2}g\bar{\delta}R$  (табл. 2) лишь немногим больше давления  $p$  у границы ядра (если последнее существует), и потому малая средняя плотность силикатной части и в этом предельном случае является вполне естественной.

Следовательно, не только нет достаточных оснований сомневаться в существовании значительных количеств железа в недрах небольших тел, перечисленных в табл. 2, но, наоборот, их средняя плотность указывает на его существование, ибо только в этом случае можно отказаться от весьма искусственного предположения Джеффриса о том, что они, начиная с самой поверхности, состоят из оливина.

Интересно отметить, что Ватсон, отрицая существование железных ядер у небольших планет и говоря об образовании метеоритов в результате раздробления какой-то планеты, делает заключение о том, что эта планета должна была быть достаточно большой для того, чтобы она могла породить железные метеориты. На самом деле наблюдательные данные подтверждают предположение об одинаковом составе всех планет, независимо от их размера.

4. Приближенные подсчеты, подобные приведенным выше, не могут, конечно, количественно объяснить различия средних плотностей Венеры

и Земли, масса и размеры которых отличаются лишь на немного. Как показано Джеффрисом<sup>(6)</sup>, это различие связано с тем, что давление в недрах Венеры несколько меньше, чем в недрах Земли, а потому и силикаты и железо сжаты в ней до меньшей плотности. Параллельный детальный расчет распределения плотностей в планетах земной группы и Луны, основанный на предположении о том, что их состав одинаков, вероятно, даст интересные данные об их внутреннем строении и, в частности, о внутреннем строении Земли.

Институт теоретической геофизики  
Академии Наук СССР

Поступило  
25 IX 1946

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- \* <sup>1</sup> О. Ю. Шмидт, ДАН, 45, 245 (1944). <sup>2</sup> F. Watson, Between the Planets, Blakiston Co., 1941. <sup>3</sup> Internal Constitution of the Earth, Ed. by B. Gutenberg, 1939. <sup>4</sup> K. E. Bullen, Bull. Seism. Soc. Am., 30, 235 (1940). <sup>5</sup> Б. Гутенберг, Строение Земли, 1935. <sup>6</sup> H. Jeffreys, M. N. Geophys. Suppl., 4, 62 (1937). <sup>7</sup> Г. Н. Ресель, Р. С. Дэгган и Д. К. Стюарт, Астрономия, 1, 1934.