

Не тратьте времени на ознакомление с чужими ошибками

© Я. М. Хазан, 2009

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 19 октября 2009 г.

Представлено членом редколлегии В. П. Коболевым

... гипотеза железного ядра с примесью некоторых других элементов может быть согласована с основными геофизическими данными о свойствах ядра Земли.

Магницкий, 1965, с. 366

... ядро состоит, в основном из железа с примесью более легких элементов, например, серы или кремния. В таком виде гипотеза железного ядра с позиций как физики высоких давлений, так и геофизики трудностей не встречает.

Жарков, Трубицын, 1980, с. 94

That iron is a dominant element in the core has been well established.

Li, Fei, 2005, p. 541

В этом номере журнала опубликована статья Э. И. Тереза и М. В. Герасимова, в которой предполагается, что ядро Земли имеет не железный (с примесями) состав, как обычно считается, а водородно-гелиевый. Статья, естественно, абсолютно ошибочна, поскольку противоречит гигантскому объему наблюдательной, экспериментальной и теоретической информации. Ниже я приведу наиболее очевидные и разительные из этих противоречий, а сейчас хочу обратить внимание читателя на даты в трех цитатах, вынесенных в эпиграф, и на то, как за последние 40 лет изменилась степень уверенности в правильности представлений о составе ядра Земли от осторожного "... гипотеза может быть согласована ..." [Магницкий, 1965] до уверенного "Надежно установлено, что железо является преоблада-

ющим элементом в ядре" [Li, Fei, 2005]. Последняя из этих цитат взята из статьи Ли и Фей, опубликованной в томе "The Mantle and Core" многотомного издания "Treatise on Geochemistry", подытоживающего многодесятилетние исследования строения и состава основных оболочек Земли. В настоящий момент эта статья, вместе с еще одной статьей из того же сборника [McDonough, 2005], — наиболее полный и наиболее достоверный обзор состояния проблемы состава ядра.

Все, что в настоящее время известно о составе ядра, в одной фразе можно сформулировать следующим образом: материал ядра содержит по массе 85,5 % железа, 5,2 % никеля, 6 % кремния, 1,9 % серы, 0,9 % хрома и другие добавки, в том числе, по-видимому, и 0,06 % водорода. Современные модели не идеально

согласуются с наблюдениями — реальное ядро, как внешнее, так и внутреннее, имеет плотность несколько меньшую, чем предсказывают уравнения состояния, но при этом величина отклонения составляет всего примерно 3—4 % для внутреннего и примерно 5 % для внешнего ядра.

Решение проблемы происхождения, строения и свойств ядра было и остается одним из наиболее серьезных вызовов природы нашей способности исследовать и понять то, что недоступно непосредственному изучению. Нет, пожалуй, ни одного раздела наук о Земле и не только о Земле (например, знаменитый эксперимент Кавендиша позволил “взвесить” Землю, а спектроскопия солнечной фотосферы выяснила ее состав, т. е. состав первичного протопланетного облака), которые не внесли бы в это заметный вклад.

Сейсмология установила существование наиболее контрастного в теле Земли скачка скорости распространения продольных волн на границе внешнего ядра, обращение в нуль модуля сдвига на этой границе (жидкое ядро) и существование твердого внутреннего ядра.

Геомagnetизм и палеомagnetизм установили существование глобального магнитного поля, свидетельствующего о том, что внешнее ядро является электропроводящим и маловязким.

Изотопная геохимия по данным так называемой вольфрам-гафниевого изотопной систематики датировала выделение ядра (около 30 млн лет от момента, который можно считать моментом появления планеты).

Космохимия, космогония и метеоритика оценили состав первичного материала, из которого построена Земля, по изучению метеоритов и солнечной фотосферы, объяснили причины изменения состава планет с удалением от Солнца.

Общая геохимия определила средний состав Земли и состав отдельных ее оболочек, тем самым зафиксировав факт фракционирования основных элементов (в первую очередь, железа) между силикатной мантией и ядром.

Экспериментальная петрология, экспериментальная и теоретическая физика высоких давлений вместе с сейсмологией и изучением собственных колебаний Земли установили уравнения состояния вначале силикатных оболочек, что позволило определить распределение плотности в мантии, наличие и положение в ней полиморфных переходов и ус-

ловия (в частности, давление (136 ГПа) на границе мантия—ядро), а затем исследовали уравнения состояния сплавов железа при условиях, приближающихся к условиям в ядре.

Если к этому добавить, что ядро составляет почти треть массы Земли и соответственно определяет почти треть ускорения свободного падения и около 15 % момента инерции планеты, то становится понятно, что делая радикальные предположения о составе, необходимо подумать о том, в какой мере эти предположения могут быть согласованы с огромным количеством надежно установленных, многократно проверенных и очень тесно увязанных экспериментальных, теоретических и наблюдательных данных.

Ничего похожего в статье Тереза и Герасимова нет. Вместо этого — совершенно очевидные противоречия с тем, что хорошо известно.

Например, хорошо известен средний состав Земли. В частности, известно, что соотношения содержаний различных химических элементов (кроме, естественно, водорода и гелия) в хондритах и солнечной атмосфере совпадают, причем для литофильных элементов эти соотношения точно такие же, как и в хорошо изученной силикатной мантии. Исключения — железо и никель. При нормировке на алюминий (содержание которого в ядре из всех литофильных элементов является, видимо, наиболее низким) содержание железа в метеоритах составляет (по массе) $Fe / Al = 20 \pm 2$. Таким же оно должно быть в среднем по Земле. Однако отношение, наблюдаемое в мантии, меньше 3. Аналогичная ситуация и с никелем: в метеоритах наблюдается и в среднем по Земле должно быть $Ni / Al \approx 1,1$, в то время как в мантии $Ni / Al < 0,1$. Эти исключения легко объясняются как раз тем, что недостающие железо и сидерофильный никель содержатся в ядре, причем это объяснение обеспечивает не только качественное, но и количественное согласие с наблюдениями. Если, однако, заменить в ядре железо на водород, то оказывается, что среднее по Земле содержание железа и никеля (которые при этом остаются только в мантии) резко отличается от наблюдаемого в остальной части Солнечной системы. Если бы это действительно было так, то было бы все намного загадочнее и важнее, чем проблема происхождения Луны, которой озабочены авторы рецензируемой статьи.

Упомянутое разительное противоречие с наблюдениями смущает авторов не более, чем

то, что, заменив железо в ядре на водород, они получают в полтора раза меньшее ускорение свободного падения. Сославшись на образование при высоких давлениях металлического водорода с плотностью 1 г/см^3 , они предлагают "дожать" его до наблюдаемой плотности ядра $9,9 \text{ г/см}^3$ на границе с мантией (т. е. в 10 раз большей!), увеличив давление. При этом упоминаются значения давления до 10^4 ГПа, т. е. почти на два порядка большие, чем реальное значение 136 ГПа. Причина столь вольного обращения с давлением в ядре коренится в заблуждении авторов, которые считают, что "... давление и плотность для ядра Земли рассчитываются, исходя из принятой модели железо-никелевого ядра". В действительности при известной (после измерения Кавендишем гравитационной постоянной) массе Земли радиальное распределение плотности определяется, исходя главным образом из изучения вращения, собственных колебаний Земли и сейсмологических данных и никакого отношения к модели ядра не имеет. Что же касается давления, то в первом приближении оно

просто равно $p(r) = \int_r^R \rho(r) g(r) dr$, где R — радиус Земли, ρ — плотность, g — ускорение свободного падения. Увеличить давление на границе мантия—ядро (почти на два порядка, как предлагают авторы!) можно только увеличив плотность мантии, что немедленно приведет к противоречию с наблюдаемыми (и известными с высокой точностью) значениями массы Земли, ускорения свободного падения и момента инерции, не говоря уж о том, что пород с такой плотностью на Земле не существует.

Пожалуй, самое удивительное в идее о водородном ядре — это то, что авторы не задались вопросом о том, как в процессе гравитационной конденсации газопылевого облака мог возникнуть абсолютно неустойчивый гигантский газовый пузырь в центре самогравитирующей кучи камней?

Таким образом, эта работа ошибочная и непрофессиональная. Я не рекомендую читателям тратить время на ознакомление с ней и сожалею о том, что она опубликована.

Список литературы

- Жарков В. Н., Трубицын В. П. Физика планетных недр. — Москва: Наука, 1980. — 448 с.
- Магницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли. — Москва: Наука, 1965. — 379 с.
- Li J., Fei Y. Experimental constraints on core composition // The mantle and core. — Amsterdam: Elsevier, 2005. — P. 521—546.
- McDonough W. F. Compositional models for the Earth's core // The mantle and core. — Amsterdam: Elsevier, 2005. — P. 547—568.