

Ю. Н. АВСЮК

О ДВИЖЕНИИ ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ

(Представлено академиком М. А. Садовским 14 III 1973)

Обсуждению движения внутреннего ядра Земли и его эксцентричности посвящен ряд работ специалистов по земному магнетизму и астрометрии (^{4, 5, 13-15}). Механизм, создающий и поддерживающий эксцентричность внутреннего ядра, в этих работах не предложен. В настоящей статье рассматривается возможный механизм движения внутреннего ядра Земли.

1. Наиболее детальной и современной моделью внутреннего строения Земли является модель Буллена А (^{1, 2}). Согласно этой модели, твердая земная оболочка простирается от поверхности до глубины 2900 км, ниже расположено ядро. Ядро подразделяется на внешнее жидкое ядро (зона *E*) от глубины 2900 км до 4980 км, средняя плотность $\sigma_1 = 11$ г/см³; переходную зону (зона *F*) от глубины 4980 до 5120 км, средняя плотность 11,5 г/см³, внутреннее твердое ядро (зона *G*) от глубины 5120 км до 6371 км, средняя плотность $\sigma_2 = 12$ г/см³. Значение коэффициента вязкости для зоны *E* известно в пределах от $10^{-3} < \nu < 10^9$ ст (^{7, 8}). Для зоны *F* значение коэффициента вязкости равно $0,3 \cdot 10^{-2} < \nu < 1,5 \cdot 10^{-2}$ ст (¹⁶).

На основании этих данных рассчитаем период свободных колебаний внутреннего ядра и силу сопротивления движению при малых отклонениях внутреннего ядра от положения равновесия.

Определим сопротивление движению внутреннего ядра в описанной выше системе, предполагая смещения малыми по сравнению с радиусом внутреннего ядра $u \ll R$. Оно складывается из гравитационного притяжения, направленного к центру масс Земли, если ядро смещено относительно него; архимедовой силы, действующей в противоположную притяжению сторону, и вязкого сопротивления.

Выражение для силы сопротивления (она же сила связи внутреннего ядра с Землей) без учета вязкости имеет вид

$$F = \frac{4}{3} \pi f (\sigma_1 - \sigma_2) M u, \quad (1)$$

масса внутреннего ядра $M = 9,7 \cdot 10^{25}$ г, f — постоянная тяготения.

Заметим, что F аналогична возвращающей силе упругой пружины с коэффициентом жесткости $\frac{4}{3} \pi f (\sigma_1 - \sigma_2) M$. Тогда частота свободных колебаний ω_0 твердого внутреннего ядра без учета вязкости будет

$$\omega_0 = \sqrt{F/M} = 5,26 \cdot 10^{-4} \text{ сек}^{-1}. \quad (2)$$

А период составит ~ 3 часа 18 мин.

Нетрудно убедиться, что при частотах ниже ω_0 и при малых отклонениях u можно пренебречь вязкой компонентой силы сопротивления. Тогда полная сила определяется выражением (1).

Таким образом, внутреннее ядро не жестко связано со всей Землей и всякое ускоренное движение последней должно вызывать смещения внутреннего ядра относительно центра масс Земли.

2. Рассмотрим причины, вызывающие смещения внутреннего ядра. Из небесной механики известно (^{1, 3, 9, 10, 12}), что градиент поля притяжения Солнца вызывает ускорение в движении Земли a относительно центра масс системы Земля — Луна (барицентра) с периодом в половину синодического месяца и амплитудой $4 \cdot 10^{-5}$ см/сек².

Это ускорение может служить причиной смещения внутреннего ядра Земли. Оценим его, предполагая при этом, что движение происходит с частотой, близкой частоте возмущающей силы. Так как частота возмущающей силы много меньше ω_0 , то в уравнении движения внутреннего ядра в не вращающейся системе координат с началом в центре масс Земли можно пренебречь инерционным членом. Тогда, используя (1) и (2) для определения u , получим

$$\omega_0^2 u = a. \quad (3)$$

Следовательно, внутреннее ядро Земли движется относительно центра масс Земли с периодом в половину синодического месяца и амплитудой 1,5 м. Для неподвижного наблюдателя траектория движения внутреннего ядра будет выглядеть как система расходящихся и сходящихся спиралей. Смещение внутреннего ядра на величину u обуславливает перемещение всей Земли относительно собственного центра масс на величину $uM/M_{\text{Земли}}$, что составляет 1,5 см. На поверхности такое перемещение должно быть отмечено как изменение силы тяжести в пунктах, отстоящих друг от друга на 180° по долготе. Величина этой разности может достигать 5 $\mu\text{гал}$ ($5 \cdot 10^{-6} \text{ см/сек}^2$).

3. Энергия колебания внутреннего ядра, согласно полученным результатам, равна $3 \cdot 10^{23} \text{ г} \cdot \text{см}^2/\text{сек}^2$. Так как колебания внутреннего ядра происходят в жидкости, то через нее соответствующие изменения давления должны передаваться внешней оболочке. Чандлеровские колебания полюса объясняются деформациями внешней оболочки Земли. Величина энергии, необходимой для поддержания чандлеровских колебаний, оценивается как $1,4 \cdot 10^{21} \text{ г} \cdot \text{см}^2/\text{сек}^2$ (11). Энергия колебания внутреннего ядра даже при наличии диссипативных процессов в передающей жидкости сравнима с величиной этой оценки.

Средняя мощность колебаний внутреннего ядра $2,1 \cdot 10^{17} \text{ эрг/сек}$. В теории генерации магнитного поля мощность «двигателя», обеспечивающего генерацию внутреннего тороидального поля в 50 гс, оценивается в $2 \cdot 10^{16} \text{ эрг/сек}$ (12). Таким образом, не исключена возможность, что движения внутреннего ядра играют существенную роль в проблеме земного динамо.

Смещения вызывают относительное изменение момента инерции внутреннего ядра на величину порядка $7 \cdot 10^{-17}$. На основании аддитивности и постоянства момента количества движения Земли скорость вращения внутреннего ядра должна соответственно уменьшиться. Уменьшение скорости вращения внутреннего ядра можно рассматривать в системе координат, связанной с поверхностью Земли, как «западный дрейф» с периодом $\sim 3 \cdot 10^7$ лет.

На движение внутреннего ядра накладываются все долгопериодные возмущения орбитального движения Земли.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
12 III 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Джеффрис, Земля, ИЛ, 1963. ² В. А. Магницкий, Внутреннее строение и физика Земли, М., 1965. ³ У. Манк, Г. Макдональд, Вращение Земли, М., 1964. ⁴ Г. Барта, Некоторые принципиальные проблемы вековых магнитных вариаций Земли, Сборн. Настоящее и прошлое магнитного поля Земли, «Наука», 1965. ⁵ Т. Рикитак, Электромагнетизм и внутреннее строение Земли, Л., 1968. ⁶ С. И. Брагинский, Геомагнетизм и аэрономия, 4, № 5 (1964); 7, №№ 3, 6 (1967); 10, № 2 (1970). ⁷ В. Н. Жарков, В. П. Трубицын, Л. В. Самсонов, Физика Земли и планет, «Наука», 1971. ⁸ Р. Хайд, Гидродинамика земного ядра, в кн. Физика и химия Земли, ИЛ, 1958. ⁹ Дж. Г. Дарвин, Приливы и родственные им явления в Солнечной системе, «Наука», 1965. ¹⁰ Планеты и спутники, ИЛ, 1963. ¹¹ Ф. Сейси, Физика Земли, М., 1972. ¹² П. Мельхиор, Земные приливы, М., 1968. ¹³ W. V. R. Malkus, J. Geophys. Res., 68, 2871 (1963). ¹⁴ F. H. Busse, The Dynamical Coupling between Inner Core and Mantle. Earthquake Displacement Fields and the Rotation of the Earth, 1970. ¹⁵ E. C. Bullard, Proc. Roy. Soc. A, 197 (1949). ¹⁶ R. F. Gans, J. Geophys. Res., 77, № 210 (1972).