

ТЕОРИЯ ВРАЩЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ

Построена теория вращения реологически расслоенной Земли, включающая широкий класс моделей движения вещества в ее недрах, механизм динамического взаимодействия составляющих Земли и внешнего проявления этих процессов на Земле с целью установления объективных закономерностей эволюции Земли.

Геомеханика как наука, изучающая движения и деформации в земной коре, мантии и ядре, а также причины таких движений и деформаций, в настоящее время бурно и динамично развивается [1–4]. Обладая большой привлекательностью с точки зрения мировоззренческих аспектов, она имеет массу неразрешенных вопросов. Например, теоретического исследования требует идея геопульсаций, пришедшая на смену догме о неизменности размеров Земли и концепции расширения Земли на протяжении ее геологической истории. Согласно модели осцилляционной геомеханики академика РАН М. В. Курлени и члена-корреспондента РАН В. Н. Опарина современная эпоха в развитии Земли определяется достижением ею максимума расширения, после чего наступит фаза сжатия [5]. В теоретическом осмыслении и подтверждении нуждается открытие о том, что твердое ядро Земли смещено на 5–15 км относительно геоцентра в сторону Северной Атлантики [6], вращается быстрее, чем вся планета, и средняя скорость вращения относительно мантии и коры может составлять до 0,2–0,3 градуса в год [7]. С другой стороны, фактом является глобальное потепление климата, которое ведет к таянию ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды, вследствие чего происходит замедление скорости вращения Земли. Ведь всякое изменение угловой скорости вращения приводит к нарушению состояния равновесия и возникновению течений вещества как внутри планеты, так и в верхних слоях литосферы. Тектонические силы, ответственные за горное давление и высокие горизонтальные напряжения, формировались миллионы лет и продолжают развиваться в настоящее время. Отсюда встает актуальнейшая проблема – моделирование эволюции Земли с точки зрения реологического поведения отдельных составляющих Земли и реализации динамики их взаимодействия [8, 9].

В работе рассмотрена реологически расслоенная Земля, включающая литосферу, астеносферу, мантию, внешнее и внутреннее ядро. Найден динамический источник механики взаимодействия

внутренних слоев Земли и внешнего проявления этих процессов на Земле. Новизна состоит в исследовании асинхронного вращения слоев и смещения внутреннего ядра. Решения основаны на трехмерных задачах и обусловлены гидродинамикой вязкой астеносферы, магнитогидродинамикой вязкого внешнего слоя ядра, пульсационными движениями во внутренних слоях Земли и абсолютным движением внутреннего ядра в ньютоновом поле внешнего притягивающего центра, упругими и вязкоупругими деформациями в периферийных оболочках Земли, движением и устойчивостью слоистой Земли.

Поставлена и решена задача о сферическом течении Куэтта в жидких слоях Земли. Основное течение определяется тангенциальной составляющей v_φ вектора скорости

$$v_\varphi = \frac{R \sin \theta}{R_1^3 - R_2^3} \left[\left(\omega_1 R_1^3 - \omega_2 R_2^3 \right) - \frac{R_1^3 R_2^3}{R^3} (\omega_1 - \omega_2) \right].$$

Уравнениями движения Навье–Стокса для вторичного течения являются

$$\left. \begin{aligned} -\frac{v_\varphi^2}{R} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial R} + \nu \left[\Delta v_R - \frac{2v_R}{R^2} - \frac{2v_\theta \operatorname{ctg} \theta}{R^2} - \frac{2}{R^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} \right], \\ -\frac{v_\varphi^2 \operatorname{ctg} \theta}{R} &= -\frac{1}{\rho R} \frac{\partial p}{\partial R} + \nu \left[\Delta v_\theta - \frac{v_\theta}{R^2 \sin^2 \theta} + \frac{2}{R^2} \frac{\partial v_R}{\partial \theta} \right], \end{aligned} \right\}$$

где ρ – плотность, p – давление, ν – коэффициент кинематической вязкости, v_R , v_θ – составляющие вектора скорости. Граничными условиями являются условия прилипания.

Исследовано магнитогидродинамическое течение вязкой несжимаемой жидкости во внешнем слое ядра вследствие рассогласованного вращения ядра и мантии и при поступательном движении внутреннего ядра Земли. Уравнения движения вязкой несжимаемой проводящей жидкости в магнитном поле и уравнения для электрического поля в среде имеют вид

$$\frac{\partial \mathcal{V}}{\partial t} + (\mathcal{V} \nabla) \mathcal{V} = \frac{F}{\delta} - \frac{1}{\delta} \text{grad } p + \nu \Delta \mathcal{V} + \frac{\nu}{3} \text{grad } \text{div } \mathcal{V},$$

$$\text{rot } \dot{E} = 0, \quad \dot{E} = -\text{grad } U, \quad \text{div } j = 0.$$

Здесь F – плотность внешней силы, приложенной к жидкости; p – давление; ν – кинематическая вязкость; δ – плотность; \mathcal{V} – скорость жидкости; E – напряженность электрического поля; U – электрический потенциал; j – плотность тока.

Получен закон малых колебаний и абсолютного движения внутреннего ядра Земли при взаимодействии с вязким внешним ядром в собственном гравитационном, геомагнитном и ньютоновом поле внешнего притягивающего центра:

$$x(t) = e^{-ht} \left(x_o \cos pt + \frac{x_o' + hx_o}{p} \sin pt \right),$$

причем x_o – начальное смещение внутреннего ядра, x_o' – начальная скорость смещения внутреннего ядра, а входящие параметры h, p обусловлены воздействующими силами.

Получено распределение тектонических напряжений и упругих перемещений в литосфере и мантии Земли:

$$u_R = u_R [A_0, D_0, A_2, B_2, C_2, D_2, m, P_0(\mu), P_2(\mu), R],$$

$$u_\theta = u_\theta \left[A_2, B_2, C_2, D_2, m, R, \frac{dP_2}{d\theta} \right],$$

$$\sigma_R = \sigma_R [G, A_0, D_0, A_2, B_2, C_2, D_2, m, R, P_0(\mu), P_2(\mu)],$$

$$\tau_{R\theta} = \tau_{R\theta} \left[G, A_2, B_2, C_2, D_2, m, R, \frac{dP_2}{d\theta} \right],$$

$$\sigma_\theta = \sigma_\theta \left[G, A_0, D_0, A_2, B_2, C_2, D_2, m, R, P_2(\mu), \frac{dP_2}{d\theta}, \text{ctg}\theta \right],$$

$$\sigma_\varphi = \sigma_\varphi \left[G, A_0, D_0, A_2, B_2, C_2, D_2, m, R, P_2(\mu), \frac{dP_2}{d\theta}, \text{ctg}\theta \right].$$

Постоянные $A_0, D_0, A_2, B_2, C_2, D_2$ определяются граничными условиями задачи, G – модуль сдвига, m – число Пуассона, $P_0(\mu), P_2(\mu)$ – полиномы Лежандра.

Выявлены и показаны новые качественные свойства внешнего проявления вязкоупругих деформаций и найден механизм распространения возмущений в литосфере с глубиной и вдоль меридиана от действия центробежных сил инерции. Определены

природа внутреннего геодинамического давления и тангенциальных напряжений и условия, приводящие к всестороннему расширению или сжатию, механизму геопульсаций. При этом вязкоупругая модель рассматривается как стандартное линейное тело. Применена аппроксимация Розовского:

$$\bar{v} = v \left[1 + \frac{1-2\nu}{2\nu} (\lambda - \mu) \frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda t)] \right];$$

$$\bar{G} = G \left\{ 1 - \frac{3(\lambda - \mu)}{3\lambda - (1-2\nu)\mu} \left[1 - \exp\left(-\frac{3\lambda - (1-2\nu)\mu}{2(1+\nu)} t\right) \right] \right\};$$

$$\bar{E} = E \left[1 - (\lambda - \mu) \frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda t)] \right].$$

Следуя В. А. Магницкому, значения для времен запаздывания и релаксации приняты равными

$$\tau_\sigma = 8000 \text{ лет}, \quad \tau_\varepsilon = 3125 \text{ лет}.$$

Прослежена глобальная динамика вращения слоев Земли и оценено характерное время релаксации системы к синхронному вращению. Показана определяющая роль внутренних сил в асимптотической устойчивости.

Решение системы дифференциальных уравнений вращения твердых слоев найдено в виде

$$p_1 - p_2 = (p_1^0 - p_2^0) e^{-1,655 \cdot 10^{10} t} +$$

$$+ \frac{(p_2^0 - p_3^0)}{8,106 \cdot 10^{16}} (e^{-1,025 \cdot 10^{-3} t} - e^{-1,655 \cdot 10^{10} t});$$

$$p_2 - p_3 = (p_2^0 - p_3^0) e^{-1,025 \cdot 10^{-3} t};$$

$$q_1 - q_2 = (q_1^0 - q_2^0) e^{-1,652 \cdot 10^{10} t} +$$

$$+ \frac{(q_2^0 - q_3^0)}{8,094 \cdot 10^{16}} (e^{-1,025 \cdot 10^{-3} t} - e^{-1,652 \cdot 10^{10} t});$$

$$q_2 - q_3 = (q_2^0 - q_3^0) e^{-1,025 \cdot 10^{-3} t};$$

$$r_1 - r_2 = (r_1^0 - r_2^0) e^{-1,692 \cdot 10^{10} t} +$$

$$+ \frac{(r_2^0 - r_3^0)}{7,850 \cdot 10^{16}} (e^{-1,025 \cdot 10^{-3} t} - e^{-1,592 \cdot 10^{10} t});$$

$$r_2 - r_3 = (r_2^0 - r_3^0) e^{-1,025 \cdot 10^{-3} t}.$$

Через $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2, p_3, q_3, r_3$ обозначены проекции угловых скоростей $\mathcal{W}_1, \mathcal{W}_2, \mathcal{W}_3$ вращения литосферы, мантии и ядра.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кэри Д.* В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. М.: Мир, 1991. 447 с.
2. *Теркот Д., Шуберт Дж.* Геодинамика. М.: Мир, 1985. Т. 1, 2. 736 с.
3. *Шейдеггер А.* Основы геодинамики. М.: Недра, 1987. 383 с.
4. *Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А.* Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 409 с.
5. *Отарин В.Н., Курленя М.В.* О скоростном разрезе Земли по Гутенбергу и возможном его геомеханическом объяснении. II. Физические основы геодинамики различного масштабного уровня // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1994. №3. С. 44-57.
6. *Barkin Yu.V.* Gravitational interactions of the Earth's nonspherical covers and some geodynamical consequences // Ann. Geophys. 1997. 15. Suppl. N1. P. 133.
7. *Dahlen F.A.* Latest spin on the core // Nature. 1999. 402. N 6757. P. 26-27.

8. *Ержанов Ж.С., Калыбаев А.А., Баймухаметов А.А., Коржымбаев Т.Т.* Движение и устойчивость слоистой Земли. Алма-Ата: Наука, 1986. 238 с.

9. *Баймухаметов А.А.* Механика геопульсаций. Алматы: Ғылым, 2003. 244 с.

Резюме

Жер эволюциясының ақиқат заңдылықтарын көрсету үшін Жердің айналу теориясы құрастырылған.

Summary

The theory of rotation of rheologically stratified Earth, including wide range of models of elements' movement in its entrails, the mechanism of dynamic interaction of components of the Earth and outwaid display of these progresses on the Earth is constructed with the purpose of establishment of objective laws of evolution of the Earth.

*Институт механики и
машиноведения МОН РК,
г. Алматы*

Поступила 30.06.05г.