

О происхождении зоны пониженных сейсмических скоростей Земли и предсказании аналогичной зоны на Марсе на глубине около 300 км

Ю. В. Баркин

Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ).

Россия, 119991, Москва, Университетский пр-т, д. 13.

E-mail: barkin@inbox.ru

Статья поступила 05.05.2015, подписана в печать 09.06.2015.

В связи с планируемыми космическими миссиями к Луне и Марсу с целью исследования внутреннего строения этих небесных тел сейсмическими методами представляются весьма актуальными теоретические исследования возможных особенностей внутренних структур этих небесных тел. Наши предыдущие исследования показали, что механизм вынужденных колебаний ядра и мантии небесного тела под действием гравитационного притяжения окружающих небесных тел может сыграть здесь важную роль и позволит объяснить ряд планетарных процессов и явлений на Земле и планетах. В частности, этот механизм дает нам возможность выявить геодезические изменения и изучить природу и происхождение некоторых внутренних структур Земли, Луны и Марса. В настоящей работе мы даем объяснение существованию зоны пониженных сейсмических скоростей (ЗПС) Земли со средней глубиной около 145 км и предсказываем существование аналогичной ЗПС для Марса на глубине около 300 км.

Ключевые слова: зоны пониженных сейсмических скоростей Земли и Марса, смещения ядра и мантии, деформации вязкоупругой мантии.

УДК: 551.35. PACS: 92.70.

Введение

В настоящей работе и в ряде других моих работ по геодинاميке и геофизике эффективные приложения получил геодинамический механизм вынужденных относительных колебаний, смещений и поворотов ядра относительно мантии под действием гравитационного притяжения внешних небесных тел [1, 2]. Этот механизм в последнее десятилетие привлекает все более пристальное внимание специалистов в различных науках о Земле и планетах. На основе этой модели в последние 10–15 лет были решены фундаментальные проблемы геодинاميки и небесной механики, геологии, геодезии и геофизики. Получил объяснение и интерпретацию вековой дрейф полюса оси вращения Земли, неприливное ускорение ее осевого вращения [3], а также скачкообразные изменения этих явлений [4]. Предложена новая интерпретация солнечно-земных и солнечно-планетных связей [5, 6], в основе которой лежит гравитационное возбуждение оболочек небесных тел. Обосновано единство механизмов циклических, вековых и ступенчатых изменений активности процессов на планетах и спутниках Солнечной системы [1, 4, 7]. Дано решение многовековой проблемы векового нарастания уровня океана, а также были предсказаны контрастные вековые изменения средних уровней океана в Северном и Южном полушариях Земли [8]. Они уже получили подтверждения в недавних работах других авторов [9, 10]. Были изучены инверсионные геодезические изменения фигуры Земли в современную эпоху [7, 11] и в ходе геоэволюции [12, 13]. Получили объяснение наблюдаемые вековые вариации силы тяжести на ведущих мировых гравиметриче-

ских станциях [9]. На основе современных данных космической геодезии были обнаружены и получили объяснение наблюдаемые контрастные вековые вариации длин широтных кругов — параллелей в Северном (укорачивание) и Южном (удлинение) полушариях. Все перечисленные явления получили подтверждение и объяснение в хорошем согласии с данными высокоточных современных наблюдений. Эти исследования послужили базой для написания настоящей статьи о природе зон пониженных скоростей на Земле и предсказании аналогичных зон на Марсе.

В настоящей работе излагаются результаты исследования возможной роли вынужденных относительных колебаний ядра и мантии Земли, а также Марса, в формировании оболочечной структуры этих небесных тел. Речь идет, прежде всего, о существовании и происхождении зон пониженных сейсмических скоростей (ЗПС — LVZ), т. е. о важных и нерешенных проблемах геодинاميки. Также изучается положение зон, соответствующих экстремальным радиальным деформациям слоев мантии (ПОЗ — OTZ). Как показано, зонам пониженных сейсмических скоростей соответствуют сферические зоны отсутствия деформаций мантии и смены направлений радиальных смещений (зоны растяжения). В основу настоящего исследования положено решение задачи теории упругости о деформациях мантии при смещениях ядра, полученное нами в первых работах по изучению указанной двухоболочечной геомодели [14, 15].

В настоящей работе мы ограничимся рассмотрением лишь случая полярного дрейфа ядра с некоторой постоянной скоростью $\dot{\rho}$ по отношению

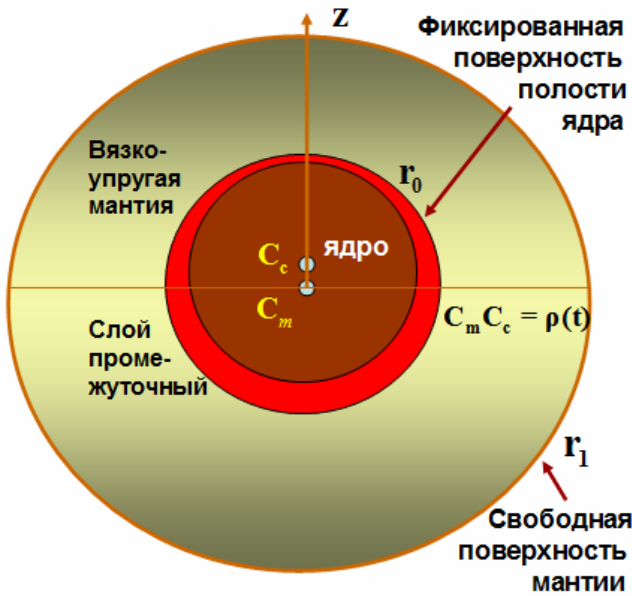


Рис. 1. Модельная задача о деформации мантии планеты при радиальном смещении ее ядра (смещения частиц на подошве мантии равны нулю, напряжение на внешней поверхности мантии равно нулю)

к поверхности планеты. Схематически рассматриваемая модель представлена на рис. 1. Предполагается, что ядро и мантия разделены тонким вязкоупругим слоем. При этом параметры дрейфа ядра относительно мантии выбираются в соответствии с данными космической геодезии за смещениями центра масс Земли с постоянной скоростью по направлению к северу. В этом частном случае система координат C_cxyz с началом в центре ядра C_c и с осями, параллельными одноименной мантийной системе координат C_mxyz , также будет инерциальной. Радиус-вектор произвольной точки мантии M в указанной системе координат представим как

$$\mathbf{R}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{r} + \mathbf{u}(\mathbf{r}, t) - \boldsymbol{\rho}(t).$$

где $\mathbf{r}$ — радиус-вектор произвольной точки мантии в недеформированном состоянии; $\mathbf{u}(\mathbf{r}, t)$ — вектор смещения. Здесь $\boldsymbol{\rho}(t)$ — закон полярного движения центра масс ядра Земли (в настоящей работе это дрейф центра масс ядра к северу с постоянной скоростью). При этом $\boldsymbol{\rho}(t)$ — линейная функция времени. Неинерциальные эффекты, обусловленные подвижностью базовой системы координат планеты C_mxyz , здесь не изучаются, как и в статье [15]. Модельная задача о деформациях мантии при полярных смещениях ядра и ее решение рассматривается в разд. 2.

1. Модель

Как и в работах [15–17], рассмотрим двухоболочечную планету, состоящую из ядра и мантии (рис. 1). Мантия рассматривается как вязкоупругое тело со свободной поверхностью и с фиксированной сферической подошвой. При этом ядро рассматривается как неизменяемое тело, центр масс которого

совершает малые полярные смещения и колебания относительно мантии. Подобные относительные смещения могут реализовываться благодаря наличию тонкого слоя с пониженной вязкостью между ядром и мантией. И они находят свое подтверждение в современных высокоточных наблюдениях движения геоцентра Земли [14, 18]. В ограниченной постановке задачи предполагается, что ядро совершает заданное движение вдоль полярной оси (вековой дрейф и колебания с малой амплитудой). Смещения центра масс гравитирующего ядра, точнее его избыточной массы, обусловленной контрастом плотностей ядра и мантии, приводят к однонаправленным смещениям центра масс планеты и вызывает деформации всех слоев мантии (рис. 1).

Указанные деформации получили аналитическое описание в работе [15]. В настоящей работе мы концентрируем внимание на изучении радиальных деформаций слоев мантии и выделении особых зон шаровых слоев, испытывающих экстремальные воздействия гравитационной природы со стороны ядра или не испытывающих таковых. Важно подчеркнуть, что положение этих зон не зависит от стиля смещений ядра и его направлений, а определяется упругими параметрами мантии и размерами ядра и мантии. Это позволило выполнить предварительные исследования расположения особых зон во внутреннем строении Луны и Марса для их моделей как системы ядро–мантия [16, 17]. Признаки относительных смещений ядра и мантии этих небесных тел усматриваются в вековых и циклических изменениях и вариациях их геофизических и геодинамических процессов [18–20, 29].

2. Радиальные деформации мантии планеты (Земли, Луны, Марса)

Радиальные смещения частиц мантии определяются формулой из работ [15–17]

$$u_r = \rho K_c \left[B_0 + C_0 + (B_2 + C_2)\zeta^2 + B_3\zeta^3 + (B_5 + C_5)\zeta^5 \right] \zeta^{-3} \sin \phi, \quad (1)$$

где ϕ — широта, $\rho = \rho(t)$ — изменяемое со временем расстояние между центрами масс мантии и ядра, являющееся заданной функцией времени; $K_c = f \Delta m_c / (\lambda r_m)$ — безразмерный коэффициент; Δm_c — избыточная масса ядра, определяющая гравитационный эффект деформации мантии смещающимся ядром; f — гравитационная постоянная; $\Delta m_c = 4\pi r_c^3 (\delta_c - \delta_{m,l}) / 3$, где δ_c — средняя плотность ядра, $\delta_{m,l}$ — плотность мантии при ее подошве. Для принятых двухоболочечных моделей Земли, Марса и Луны были получены значения $K_{c, \text{Earth}} = 0.20883$, $K_{c, \text{Mars}} = 0.003779$, $K_{c, \text{Moon}} = 0.0006520$. Безразмерная величина $\zeta = r/r_m$, где $r = |\mathbf{r}|$, характеризует положение произвольной точки мантии с радиусом-вектором $\mathbf{r}$. Так, для точек на поверхности сферического ядра Земли $\zeta = \zeta_0 = r_c/r_m$, а на поверхно-

сти планеты $\zeta = 1$. Коэффициенты B_i и C_i являются известными функциями упругих параметров мантии λ , μ и геометрического параметра ζ_0 [15, 16]. Для рассматриваемых моделей ядра и мантии Земли и Марса соответственно имеем $\zeta_0 = 0.5462$, $\zeta_0 = 0.4887$.

Формула (1) была выведена на основе общей формулы о деформациях упругой мантии Земли под гравитационным влиянием дрейфующего к северу ядра из работ [15, 16]:

$$\mathbf{u} = K_c \left[\left(B_0 + B_2 \zeta^2 + B_3 \zeta^3 + B_5 \zeta^5 \right) \cdot \zeta^{-3} \boldsymbol{\rho} + \left(C_0 + C_2 \zeta^2 + C_5 \zeta^5 \right) \cdot \zeta^{-3} \frac{(\mathbf{r} \cdot \boldsymbol{\rho})}{r^2} \mathbf{r} \right]. \quad (2)$$

Коэффициенты B_i и C_i определяются как функции упругих параметров мантии λ , μ и геометрического параметра ζ_0 [15]:

$$\begin{aligned} B_0 &= -\frac{1}{18\Delta_a} \lambda(\lambda + 4\mu) r_c^2 [4\mu r_c^3 + (3\lambda + 2\mu) r_m^3], \\ B_2 &= -\frac{\lambda^2}{6\mu(\lambda + 2\mu)}, \\ B_3 &= \frac{r_m}{9r_c \Delta_a} \lambda(\lambda + \mu) \times \\ &\quad \times [9(\lambda + 4\mu) r_c^5 - 10\mu r_c^3 r_m^2 + 2(3\lambda + 2\mu) r_m^5], \\ B_5 &= -\frac{1}{3\Delta_a} \lambda r_m^3 (2\lambda + 3\mu) [(\lambda + 4\mu) r_c^2 - 2\mu r_m^2], \\ C_0 &= \frac{1}{6\Delta_a} \lambda(\lambda + 4\mu) r_c^2 [4\mu r_c^3 + (3\lambda + 2\mu) r_m^3], \\ C_2 &= -\frac{\lambda(\lambda + 4\mu)}{6\mu(\lambda + 2\mu)}, \\ C_5 &= \frac{1}{3\Delta_a} \lambda(\lambda + 4\mu) r_m^3 [(\lambda + 4\mu) r_c^2 - 2\mu r_m^2], \\ \Delta_d &= -(\lambda + 2\mu) [4\mu r_c^3 + (3\lambda + 2\mu) r_m^3], \\ \Delta_a &= \mu(\lambda + 2\mu) [2(\lambda + 4\mu) r_c^5 + (3\lambda + 2\mu) r_m^5]. \end{aligned} \quad (3)$$

В дальнейшем будем использовать модельные значения параметров Земли

$$\begin{aligned} \mu &= 1.80 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2, \quad \lambda = 2.57 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2, \\ \delta_m &= 4.44 \text{ (г/см}^3\text{)}, \quad m_{\oplus}/\Delta m_c = 5.1760, \\ K_c &= 0.20883, \quad r_c = 3480 \text{ км}, \quad r_m = 6371 \text{ км}, \\ \zeta_c &= r_c/r_m = 0.5462. \end{aligned} \quad (4)$$

В (4) δ_m — среднее значение плотности мантии, r_c и r_m — средние радиусы внешней и внутренней поверхностей мантии Земли. Упругие свойства мантии Земли мы будем описывать посредством средних значений коэффициентов Ламэ μ и λ . Δm_c — избыточная масса подвижного ядра. $m_{\oplus}$ — масса Земли. $K_c = \frac{i \Delta m_c}{\lambda r_1}$ — безразмерный фундаментальный параметр. Избыточная масса ядра Земли $\Delta m_c = 0.1932 m_{\oplus}$. Все приведенные значения параметров ядра и мантии (4) были определены на основе стандартной модели Земли PREM [21].

Для принятых значений параметров модели Земли (4) на основе формул (3) были получены следующие расчетные значения коэффициентов A_i , B_i и C_i ($i = 0, 1, 2, 3$):

$$\begin{aligned} B_0 &= -0.038154, & B_2 &= -0.099119, \\ B_3 &= 0.402059, & B_5 &= 0.045443, \\ C_0 &= 0.114462, & C_2 &= -0.376807, \\ C_3 &= 0, & C_5 &= -0.042124. \end{aligned}$$

На рис. 2 по оси абсцисс указано относительное радиальное расстояние ζ (указанные значения соответствуют расстояниям от поверхности ядра до текущей точки мантии). Радиальные расстояния от центра Земли до подошвы мантии, до границ зоны пониженных сейсмических скоростей (ЗПС) (согласно модели Земли ПРЕМ [21]) и глубины залегания границ ЗПС на рис. 2 также указаны в километрах. Выделена зона максимальных деформаций мантии, заключенная в полосе 3630–5600 км.

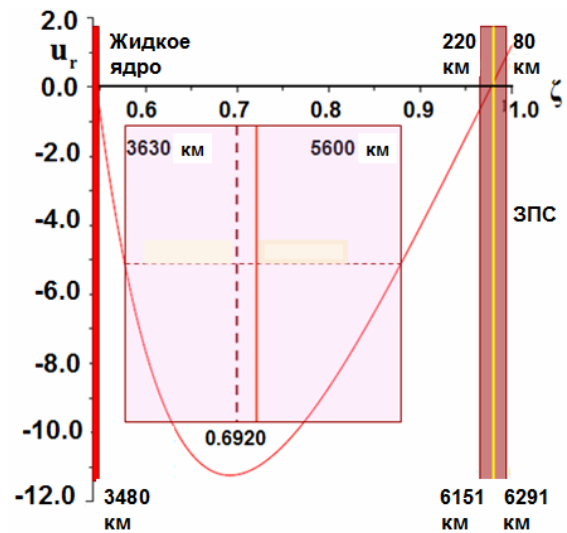


Рис. 2. Радиальные деформации мантии Земли

На нижней части рис. 3 приводится томографическое сечение верхней мантии Земли (красная линия в верхней части рисунка). Указано положение зон пониженных сейсмических скоростей (ЗПС) на нижней части рисунка (на глубине около 145 км) [22].

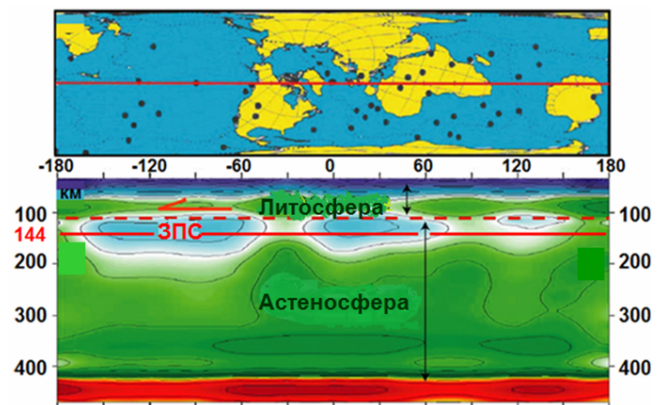


Рис. 3. Зоны пониженных сейсмических скоростей. Механизм их формирования

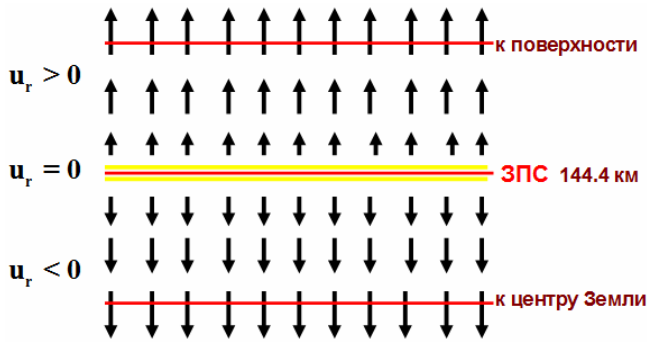


Рис. 4. К природе астеносферного слоя. Механизм формирования зон пониженных сейсмических скоростей (зон разуплотнения). Зона отсутствия деформаций от подвижного ядра — зона пониженных скоростей

За основу принят рисунок из работы [23]. Этот рисунок иллюстрирует явление линзообразности при формировании зон пониженных скоростей и асимметрии их залегания по отношению к противоположным полушариям Земли и уровень их залегания, соответствующий границе ЗПС (нижняя часть рис. 3). Расположение томографического сечения Земли отмечено на карте красной линией. Граница 145 км соответствует зоне смены направлений смещений частиц мантии, указанной на рис. 4.

3. Невозмущаемость астеносферного слоя

Зоны астеносферного слоя (на глубинах 80–220 км), разделенных границей 145 км (рис. 2), испытывают противоположные тенденции растяжения в их деформационных состояниях (рис. 4). Частицы внешнего слоя астеносферы смещаются по направлению движения ядра и частицы внутреннего слоя литосферы смещаются в направлении, противоположном направлению перемещения ядра (рис. 4). Средняя линия астеносферы на глубине 145 км не возмущается в радиальном направлении независимо от амплитуды и направления основных перемещений. Этот слой и его структура хорошо просматриваются в данных томографических разрезов вокруг всей Земли (рис. 3). Его линзообразный характер, по-видимому, связан со спецификой преимущественных направлений радиальных смещений ядра Земли. Отметим, что в работах по тектонике более раннего периода [24–26] была использована модель литосферных океанических плит с толщиной $d = 117$ км.

Таким образом, зоны пониженных скоростей можно сопоставить определенной планетарной (сферической) зоне растяжения. Ее происхождение связано с гравитационным воздействием на слои мантии смещающегося ядра. Колебания и смещения ядра возникают в связи с гравитационным воздействием внешних небесных тел на систему ядро–мантия. Средняя линия ЗПС соответствует сфере мантии определенного радиуса, для которой радиальная деформация равна нулю. То есть радиальные

смещения частиц мантии, расположенных на геоцентрической сфере с радиусом $r_{LVZ} = r_1 \zeta_{LVZ}$, равны нулю. В случае принятой двухоболочечной модели для Земли (см. рис. 1) нами был определен радиус указанной сферы пониженных скоростей со средним радиусом $r_{LVZ} = r_1 \zeta_{LVZ} = 6226$ км (со средней глубиной залегания 145 км) (см. рис. 4).

4. Радиальные деформации мантии Марса. Предсказание существования зоны пониженных сейсмических скоростей Марса на глубине около 300 км

Ранее мы отмечали в ряде публикаций, что на планете Марс также действует эффективный механизм вынужденных относительных колебаний ядра и мантии. Таким образом, все явления, вызванные вековым дрейфом центра масс планеты, должны иметь место на Марсе. Мы не будем останавливаться подробно на рассмотрении разных геодезических и геофизических явлений на Марсе [29]. Но обратим внимание, что, весьма вероятно, Марс также имеет зону пониженных скоростей (ЗПС). На рис. 5 приведен график радиальных смещений частиц мантии, выраженных в единицах $10^{-3}\rho$, ρ — относительное смещение центров масс ядра и мантии. На рис. 6 полосой справа отмечено возможное положение зоны пониженных сейсмических скоростей Марса, которой соответствует средняя глубина залегания около 300 км. Здесь же приведены графики известной модели внутреннего строения Марса [27, 28]. Видно, что положение оливиновой переходной зоны (ОТЗ) соответствует положению зоны экстремальных радиальных деформаций мантии Марса при смещениях и колебаниях ядра планеты. Указанное соответствие нуждается, конечно, в более глубоком изучении.

В этом разделе мы рассмотрим двухоболочечную модель Марса, аналогичную той, что обсуждалось выше для Земли (см. рис. 1). Параметры модели взяты из современных исследований внутреннего строения Марса [16, 17]:

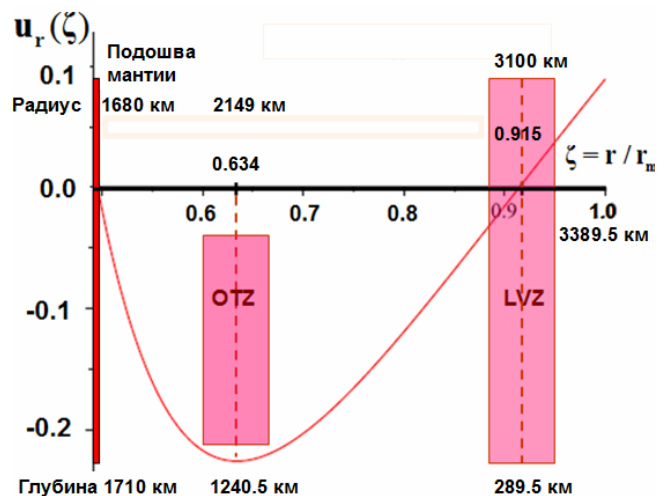


Рис. 5. Радиальные смещения частиц мантии Марса, расположенных на полярной оси

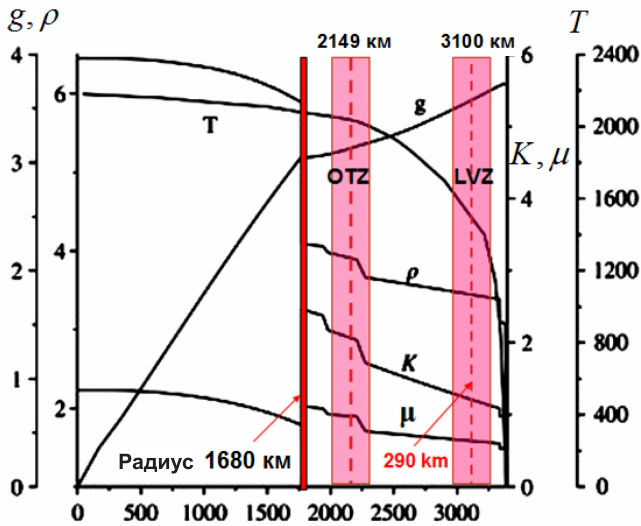


Рис. 6. Модель внутреннего строения Марса и предсказанное положение зоны пониженных скоростей Марса (LVZ)

λ, μ — упругие параметры Ламе для мантии Марса: $\lambda = 1.03 \cdot 10^{12}$ Па, $\mu = 0.78 \cdot 10^{12}$ Па; δ_m и δ_c — средние плотности мантии и ядра Марса: $\delta_m = 3.70 \text{ г·см}^{-3}$, $\delta_c = 6.7 \text{ г·см}^{-3}$; $\Delta m_c/m_M = 0.00894479$ и фундаментальные параметры: $K_c = 0.0037787$, $\zeta_0 = r_c/r_m = 0.4957$. Средние радиусы мантии и ядра Марса: $r_m = 3389.5 \text{ км}$, $r_c = 1680 \text{ км}$. Масса Марса $m_M = 0.64185 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

В этой рассматриваемой модельной задаче выражение радиальной составляющей вектора смещения частиц мантии Марса определяется формулой (2), но с другими численными значениями параметров. Для принятых значений параметров модели Марса на основе формул (3) мы получим следующие расчетные значения коэффициентов B_i и C_i ($i = 0, 2, 3, 5$):

$$\begin{aligned} B_0 &= -0.029654, & B_2 &= -0.087524, \\ B_3 &= 0.399851, & B_5 &= 0.082512, \\ C_0 &= 0.08896121, & C_2 &= -0.352647, \\ C_3 &= 0, & C_5 &= -0.077824. \end{aligned}$$

Для принятых здесь параметров двухоболочечной модели Марса легко построить график радиальных смещений частиц мантии относительной глубины (рис. 3). Смещения частиц указаны в условных единицах по оси ординат. В случае Марса максимальные радиальные смещения имеют место на глубине 1240.5 км ($\zeta = 0.6920$) и в Северном полушарии до глубин в 300 км направлены к центру планеты. Особо подчеркнем, что при определенной глубине в мантии около 300 км радиальные смещения частиц равны нулю. Согласно рассматриваемой геодезии и механизму вынужденных перемещений и колебаний ядра и мантии Марса горизонтальная красная линия соответствует срединной линии зоны пониженных сейсмических скоростей (рис. 4). Наши исследования динамики Марса как системы гравитирующих и подвижных оболочек подтверждают

существование эффективного механизма вынужденных колебаний ядра и мантии, как и в случае Земли [29]. Таким образом, все явления, вызванные вековым дрейфом и колебаниями центра масс планеты (или, проще сказать, смещениями ее ядра), известные для Земли, должны иметь место и на Марсе. Мы не будем подробно останавливаться на этих явлениях. Но обратим внимание, что, весьма вероятно, Марс также имеет слой с пониженными сейсмическими скоростями, который, по нашим расчетам, расположен на глубине около 300 км [16, 17].

На рис. 5 представлен график для радиальных смещений частиц мантии Марса вдоль полярной оси планеты, выраженных в единицах $10^{-3}\rho$. Основной график здесь представлен на фоне известных графиков модели внутреннего строения Марса [27, 28]. Здесь же указана (ПОЗ — ОЗТ) — переходная оливиновая зона, а также полосой выделена гипотетическая зона пониженных сейсмических скоростей (ЗПС — LVZ). Средняя линия зоны пониженных сейсмических скоростей отмечена красным. Для Земли эта линия соответствует глубине около 145 км. Для Марса положение этой линии, как впрочем и самой зоны пониженных скоростей, неизвестно. Она соответствует изменению направления смещений частиц мантии от центра к поверхности планеты и наоборот (см. рис. 3).

На графике радиальных смещений частиц мантии Марса, отсчитываемых по оси ординат при $\phi = \pi/2$ в единицах $10^{-3}\rho$, по оси абсцисс указано относительное радиальное расстояние ζ (указанные значения соответствуют расстояниям от поверхности ядра до текущей точки мантии). Радиальные расстояния от центра Марса до подошвы мантии, до границ зоны пониженных сейсмических скоростей (ЗПС) и глубины залегания границ ЗПС на рис. 2 указаны также в километрах.

Поэтому все явления, обусловленные вековым дрейфом центра масс планеты (точнее ее ядра) и рассмотренные выше для Земли, должны иметь место и на планете Марс. Мы не будем останавливаться подробно на всех явлениях. Но отметим, что у Марса также имеется слой с пониженными скоростями, который по нашим расчетам расположен на глубине около 300 км и который может быть обнаружен по данным планируемых космических миссий на Марс.

5. Выводы

Получены важные свидетельства, что происхождение зоны пониженных скоростей Земли и ее положение определяется действием механизма вынужденных смещений и колебаний ядра Земли относительно мантии под действием гравитационного притяжения Солнца и планет (в ходе ее геологической истории). В настоящей работе аналогичная зона пониженных скоростей со средней линией на глубине около 300 км предсказывается для Марса.

Стиль деформаций слоев мантии Марса и Земли, вызванных смещениями и колебаниями их ядра и мантии, имеет много общего. Поэтому существование зоны малых радиальных скоростей планеты Марс, на глубине 300 км, представляется вполне реальным.

Это подтверждает наши предыдущие предположения, что механизм вынужденных относительных колебаний ядра и мантии Марса является активным и контролирующим деятельность и интенсивность природных процессов планеты [29]. Эти данные и предварительные результаты имеют важное значение для подготовки и проведения сейсмических экспериментов на поверхности Марса и в других планируемых космических миссиях для выявления ЗПС планет и спутников. Формирование подобных зон (ЗПС) обусловлено гравитационным воздействием смещающегося ядра. Эти результаты имеют важное значение для подготовки и проведения сейсмических экспериментов на поверхности Марса в планируемых космических миссиях для выявления и изучения указанных зон.

Заключение

Разработана методика изучения существования и положения сейсмических зон пониженных скоростей (LVZ) планет и спутников, которая эффективно была применена для анализа глубины залегания указанной зоны для планеты Земля (со средней линией на глубине 145 км). В случае планеты Марс было теоретически предсказано существование аналогичной зоны со средней глубиной залегания около 299 км. На сегодняшний день внутреннее строение Марса плохо изучено по сравнению с Землей и в меньшей степени с Луной, для изучения которых были использованы сейсмические данные. Предпринимались неоднократные попытки проведения аналогичных сейсмических экспериментов на Марсе. Сейсмографы были установлены на посадочных станциях Viking-1 и -2 еще в экспедициях 1976 г. Один из приборов не сработал полностью, а сейсмометр Viking-2 — трехкомпонентный короткопериодный инструмент — не смог обнаружить ни одного заметного сейсмического события (марсотрясения). При этом сейсмометр Viking Lander 2 находился в режиме почти непрерывной работы в течение 19 мес. В течение последних 25 лет разрабатывались различные эксперименты по сейсмическим исследованиям с помощью нескольких станций, расположенных на поверхности Марса (Марс-96, ESA Marsnet и ESA/NASA InterMarsnet, ExoMars). По разным причинам ни один из этих сейсмических экспериментов не был реализован.

В Солнечной системе Луна является единственным космическим телом, кроме Земли, для которого были получены сейсмические данные. В настоящее время мы находимся в преддверии важных сейсмических экспериментов на Марсе: проект

InSight, планируемый NASA (Национальный комитет по аэронавтике и исследованию космического пространства), и проект, разрабатываемый сейчас в международной кооперации Российского космического агентства (Роскосмос) и ESA (Европейское космическое агентство). Одной из основных задач сейсмического эксперимента на Марсе является уточнение модели внутреннего строения этой планеты. Таким образом, у нас есть определенные основания полагать, что зона пониженных скоростей на Марсе может быть выявлена сейсмическими методами в ближайших космических миссиях к этой планете. Это послужило бы важным подтверждением, что на Марсе самым активным образом проявляется механизм вынужденной раскачки ядра и мантии под гравитационным воздействием Солнца и планет.

Работы автора, представленные в списке литературы, и другие родственные работы указанного направления можно найти и прочитать в Интернете (Google) в системе Истина (barkinyv istina) или на общедоступной страничке автора <http://istina.msu.ru/profile/BarkinYV/>.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант N 15-05-07590).

Список литературы

1. Баркин Ю.В. // Изв. Секции наук о Земле РАН. 2002. 9. С. 45.
2. Barkin Yu. V. // Proc. of the 36th ESLAB Symposium. Noordwijk, 2002. P. 201. <http://adsabs.harvard.edu/full/2002ESASP.514.201B>.
3. Баркин Ю.В. Вращательное движение и внутренняя динамика тел Солнечной системы. М., 2015.
4. Баркин Ю.В. // Геология морей и океанов: Мат-лы XX Междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. 2013. С. 21.
5. Smolkov G. Ya., Barkin Yu. V. // Astronomicheskii Tsirkular. Published by the Bureau of Astronomical Communications of the Russian Academy of Sciences and Sternberg Astronomical Institute. 2014. 30, N 1619. P. 1.
6. Шестопалов И.П., Баркин Ю.В., Белов С.В. // Смирновский сборник — 2014 (научно-литературный альманах). 2014. С. 134.
7. Белов С.В., Шестопалов И.П., Харин Е.П. и др. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 5. Человек и три окружающие его среды. М., 2013. С. 172–179.
8. Баркин Ю.В. // Вестн. Моск. Ун-та. Физ. Астрон. 2011. № 4. С. 75. (Barkin Yu. V. // Moscow University Phys. Bull. 2011. 66, N 4. P. 398.)
9. Jevrejeva S., Grinsted A., Moore J. C., Holgate S. // J. Geophys. Res. 2006. 111. C09012.
10. Wöppelmann G., Marcos M., Santamaría-Gómez A. et al. // Geophys. Res. Lett. 2014. 41. P. 1639.
11. Shen W. B., Sun R., Barkin Yu., Shen Z.-Y. // Geodynamics & Tectonophysics. 2015. 6, N 1. P. 45.
12. Гончаров М.А., Разнищин Ю.Н., Баркин Ю.В. // Геодинамика и тектонофизика. Сиб. отд. РАН. 2012. 3, № 1. P. 27.

13. Гончаров М.А., Разницин Ю.Н., Баркин Ю.В. // Докл. РАН. 2014. **455**, № 5. С. 550.
14. Barkin Yu.V., Vilke V.G. // *Astron. Astrophys. Trans.* 2004. **23**, N 6. P. 533.
15. Barkin Yu.V., Shatina A.V. // *Astron. Astrophys. Trans.* 2005. **24**, N 3. P. 195.
16. Barkin Yu., Hanada H., Sasaki S., Barkin M. // The Third Moscow Solar System Symposium (SM-S3) (8–12 October 2012, Moscow, Russia). Book of Abstracts. 2012. Abstract 3MS3-PS-52. P. 244.
17. Barkin Yu., Hanada H., Sasaki S., Barkin M. // 118th Meeting of the Geodetic Society of Japan. Sendai, Japan, 29 October — 2 November 2012. Book of Abstracts. P. 147.
18. Баркин Ю.В. // Геофизич. исслед. 2010. **11**. P. 18.
19. Баркин Ю.В. Циклические инверсионные изменения климата в Северном и Южном полушариях Земли: биполярные «климатические качели» и их механизм, проявления его действия в современную эпоху и значение для климата России // Научные аспекты экологических проблем России: коллективная монография / Под общ. ред. Ю.А. Израэля и Н.Г. Рыбальского. М., 2012. С. 46.
20. Баркин Ю.В. // Физические проблемы экологии (экологическая физика): Сб. науч. трудов. 2013. **19**. С. 54.
21. Dziewonski A.M., Anderson D.L. // Preliminary Reference Earth Model, Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1981. **25**. P. 297.
22. Thybo H. // Tectonophysics. 2006. **416**. P. 53.
23. Riguzzi F. et al. // *Tectonophysics*. 2009.
24. Barkin Yu.V. // *Astron. Astrophys. Trans.* 2000. **18**, N 6. P. 751. <http://images.astronet.ru/pubd/2008/09/28/0001230490/751-762.pdf>.
25. Barkin Yu.V. // *Astron. Astrophys. Trans.* 2000. **18**, N 6. P. 763. <http://images.astronet.ru/pubd/2008/09/28/0001230496/763-778.pdf>.
26. Barkin Yu.V. // *Astron. Astrophys. Trans.* 2000. **19**, N 1. P. 1. <http://images.astronet.ru/pubd/2008/09/28/0001230498/1-11.pdf>.
27. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М., 1978.
28. Гудкова Т.В., Lognonné P., Жарков В.Н., Раевский С.Н. // Астрон. вестник. 2014. **48**. № 1. С. 1.
29. Barkin Yu.V. // European Planetary Science Congress (Potsdam, Germany, 13–18 September 2009). **4**. P. 118. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2009/EPSC2009-118-1.pdf>.

On the origin of a zone of lower seismic velocities of the Earth. Prediction of a similar zone on Mars at a depth of approximately 300 km

Yu. V. Barkin

Sternberg State Institute of Astronomy, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.

E-mail: barkin@inbox.ru.

In light of the planned space missions to the Moon and Mars to study the inner structures of these celestial bodies by seismic methods, theoretical studies of possible peculiarities of the inner structures of these celestial bodies are particularly relevant. Our previous investigations showed that the mechanism of forced oscillations of the core and mantle of a celestial body under the gravitational influence of other celestial bodies may play a key role. Moreover, it allows a number of planetary processes and phenomena on the Earth and the other planets to be explained. Specifically, this mechanism gives us an opportunity to reveal geodesic changes and to study the nature and origin of some of the inner formations of the Earth, the Moon, and Mars. In the present paper, we explain the presence of a zone of lower seismic velocities (LVZ) on the Earth at a mean depth of approximately 145 km and predict the analogous LVZ on Mars at a depth of approximately 300 km.

Keywords: zones of lower seismic velocities of the Earth and Mars, core and mantle displacements, deformations of a viscoelastic mantle.

PACS: 92.70.

Received 5 May 2015.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 6(2015).

Сведения об авторе

Баркин Юрий Владимирович — доктор физ.-мат. наук, профессор, вед. науч. сотрудник;
тел.: (495) 939-50-24, e-mail: barkin@inbox.ru.